



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

Máster en Ingeniería Industrial

Título del trabajo:

Mejora de prestaciones en inversores centrales Power Max

Alumno: Daniel Contreras Larumbe

Tutor UPNA: Roberto González Senosiain

Tutor INGETEAM: Julián Balda Belzunegui

Pamplona, Junio de 2016

Agradecimientos

En primer lugar me gustaría agradecer a mis tutores Roberto González y Julián Balda así como a la Universidad Pública de Navarra junto con la Cátedra de Energías Renovables por haberme proporcionado la oportunidad de realizar este proyecto en un entorno profesional del calibre de INGETEAM.

Me gustaría dar las gracias al personal de INGETEAM, por su profesionalidad y amabilidad, y por estar siempre dispuestos a ayudarme. En particular a Bernardo Riva, Marcos Elcuaz y a Luis Pérez, los cuales han tenido que soportar mis constantes preguntas y consultas.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	6
1.1. OBJETO	6
1.2. ALCANCE	6
1.3. JUSTIFICACIÓN	6
2. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	8
2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL	8
2.2. PARTES CONSTITUTIVAS	9
3. ENSAYOS HALT	10
3.1. FUNDAMENTO TEÓRICO	10
3.1.1. Motivación y necesidad	10
3.1.2. Metodología	11
3.2. MATERIAL E INSTRUMENTACIÓN	14
3.3. ELEMENTOS ENSAYADOS	17
3.3.1. Tarjeta de sincronización mediante fibra óptica	17
3.3.1.1. Descripción en detalle	17
3.3.1.2. Planteamiento	19
3.3.1.3. Resultados	23
3.3.1.4. Conclusiones.....	40
3.3.2. Tarjeta de monitorización ventiladores y supervisión de servicios auxiliares.....	41
3.3.2.1. Descripción en detalle	41
3.3.2.2. Planteamiento	43
3.3.2.3. Resultados	46
3.3.2.4. Conclusiones.....	62
3.3.3. Tarjeta de sistema alimentación contactor CSS.....	64
3.3.3.1. Descripción en detalle	64
3.3.3.2. Planteamiento	65
3.3.3.3. Resultados	68
3.3.3.4. Conclusiones.....	91
3.3.4. Tarjeta medida de tensión de panel	93
3.3.4.1. Descripción en detalle	93
3.3.4.2. Planteamiento	95
3.3.4.3. Resultados	97
3.3.4.4. Ensayo CSS.....	100
3.3.5. Tarjeta de conexionado Drivers e IGBT.....	111
3.3.6. Tarjeta de Drivers para 2 SIX-IGBT PACKS paralelo	111
3.3.6.1. Descripción en detalle	111
3.3.6.2. Planteamiento	114
3.3.6.3. Resultados	118
3.3.6.4. Conclusiones.....	135
4. OTROS ENSAYOS Y MEJORA CONTINUA	137
4.1. CARGA Y DESCARGA CONDENSADORES MONITORIZACIÓN VAUX	137
4.2. TARJETA SEÑAL PARA COMPROBADORA VENTILADORES	138
4.3. MODIFICACIÓN TARJETA SINCRONIZACIÓN FIBRA ÓPTICA	138
4.4. PROTOTIPO TARJETA DE CAPTACIONES	138
4.5. PRUEBA IEC 62109-2-2010 DE MEDIDA DE AISLAMIENTO	143

5.	CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS.....	144
6.	ÍNDICE DE IMAGENES	149
7.	ÍNDICE DE TABLAS	151
8.	ÍNDICE DE GRÁFICAS	152
9.	BIBLIOGRAFÍA	153
10.	ANEXO I.....	154
11.	ANEXO II.....	205

1. INTRODUCCIÓN

Anualmente la energía solar captada por la tierra se aproxima en 4500 veces la energía que se consume, lo cual demuestra el potencial que en ella reside. Sin embargo su aprovechamiento presenta grandes inconvenientes como el condicionante geográfico y los ciclos diarios y anuales. Para ello la práctica más común para generación eléctrica es la utilización de paneles solares fotovoltaicos, lo cuales son capaces de absorber energía en forma de fotones y transformarla en energía eléctrica.

Hoy día en el mercado de la energía fotovoltaica se experimenta una gran competencia, experimentando gran presión en la bajada de precios, así como la creación de instalaciones de gran potencia, llegando a potencias de 850 MW (planta de Longyangxia, China). Todo ello ha aumentado la relevancia del coste total de la instalación y consecuentemente ha afectado al mercado de los inversores fotovoltaicos. Por ello este se ha convertido a su vez en un mercado competitivo y exigente en el que la robustez, eficiencia y el precio de los equipos es fundamental.

Dentro de este marco global se sitúa el presente Trabajo Fin de Estudios, realizado en la empresa Ingeteam Power Technology situada en Sarriguren (Navarra) en el departamento de Fotovoltaica, encargado del diseño y fabricación de inversores fotovoltaicos.

1.1. OBJETO

El objeto del presente Trabajo Fin de Estudios es el estudio y la mejora de prestaciones en los inversores fotovoltaicos trifásicos conectados a red comercializados en la actualidad por INGETEAM POWER TECHNOLOGY-ENERGY S.A. (en adelante *Ingeteam*). Dentro de la amplia gama de inversores comercializados por la empresa, la familia sobre la que se ha desarrollado este trabajo es la familia de inversores fotovoltaicos de mayor potencia (familia POWER MAX), compuesta por un elevado número de modelos con potencias comprendidas entre los 250-1000kW, con distintas tecnologías y configuraciones.

Se centra en el montaje, prueba y ensayo de tarjetas del equipo *Ingecon Sun Power Max Monoblock*, inversor trifásico de 1 MW de potencia, que comprende la validación del funcionamiento correcto de los componentes, la detección de puntos de mejora en el inversor, diseño electrónico, pruebas funcionales y revisión del estado del arte sobre puntos de mejora. Para ello se analizan las tarjetas electrónicas de interés, se realizan ensayos HALT, se realizan montajes y pruebas de prototipos, se estudian alternativas de diseño y se analizan los resultados y se plantean líneas futuras de acción.

1.2. ALCANCE

Este proyecto se ha desarrollado en el departamento de I+D Fotovoltaica en las oficinas de *Ingeteam* en Sarriguren (Navarra) como parte de la Cátedra de Energías Renovables de la Universidad Pública de Navarra. A lo largo del proyecto se analizan distintas tarjetas electrónicas y diversos montajes pero no se realizan pruebas en campo ni se maneja el equipo *Ingecon Sun Power Max Monoblock* (en adelante *Monoblock*). Se llevan a cabo ensayos HALT en dos de sus fases, siendo las pruebas relacionadas con estrés mecánico vibracional imposibles de realizar debido a la limitación en el equipamiento.

1.3. JUSTIFICACIÓN

El sector de Energías Renovables se encuentra presente de manera indiscutible en la sociedad contemporánea, abriéndose paso poco a poco en el panorama energético mundial. El crecimiento de este sector se ha debido principalmente a la madurez tecnológica alcanzada, reducción de costes, aumento en precio de la electricidad entre otros así como la concienciación de la sociedad y la búsqueda de métodos alternativos de obtención de energía. En un sector tan competitivo como lo es el de la industria fotovoltaica

es clave mantenerse a la cabeza de la innovación tecnológica y a la vez ofrecer productos de calidad y a precios asequibles.

En su empeño por lograr los objetivos expuestos anteriormente, *Ingeteam* desea asegurar la fiabilidad de sus equipos a la vez que persigue una mejora continua, una apuesta por I+D y una reducción en los costes. Este proyecto responde a estas necesidades, enmarcándose en el estudio y mejora de prestaciones. Mediante una serie de ensayos y pruebas de prototipos se comprueba el correcto funcionamiento de nuevos diseños y se estudian tarjetas defectuosas para localizar el origen de la falta (bien en diseño o en fabricación). Mediante el establecimiento de las bases para la realización de ensayos HALT y la realización de los mismos se orienta el trabajo hacia una mejora en el diseño, ahorro consecuente en tiempo, costes y retrabajo en la primera etapa de vida del producto, así como un aumento de la fiabilidad. Se localizan puntos débiles en el diseño, estudiando alternativas en el mismo y que a su vez cumplan las expectativas del cliente.

2. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL

El *Ingecon Sun Power Max Monoblock* es inversor trifásico de 1 MW de potencia recién introducido en el mercado. Una característica que lo define es la gran cantidad de potencia por metro cúbico, consiguiendo así optimizar el diseño ya que un sólo bloque es capaz de procesar una mayor cantidad de potencia respecto a otros series y fabricante. Además incluyen mejoras como un control más eficiente, hardware sofisticado para medidas muy precisas y menor consumo de potencia gracias a la optimización de la tarjeta de fuentes.

Una de las premisas en el diseño del equipo ha sido la disposición de los elementos de tal manera que se favorezca su reparación y sustitución de componentes. Al igual que el resto de modelos dentro de la familia INGECON SUN PowerMax, la serie B integra las acometidas DC y AC en el mismo armario, facilitando las tareas de mantenimiento y reparación. Están equipados con un seccionador motorizado en carga (DC) para desacoplar el inversor del campo fotovoltaico. Opcionalmente, pueden ser suministrados con un interruptor magneto-térmico AC, fusibles, kit de puesta a tierra y kit de monitorización de las corrientes de entrada.

En cuanto a la normativa, estos inversores han sido diseñados según las normas IEC62109-1 e IEC62109-2 y según los códigos de red más exigentes del mundo, contribuyendo a la calidad y estabilidad del sistema eléctrico. Son capaces de soportar huecos de tensión, tienen control de potencia activa inyectada a red y son capaces de inyectar potencia reactiva. Otras características de interés son:

- Rango potencia AC: 830 - 1165 kVA
- Rango tensión:
 - V_{DC} : 610 - 1050 V
 - V_{AC} : 420 V
- Versiones IEC y UL
- Instalación *indoor* o *outdoor*
- La clase de protección del equipo es *Clase I*
- Máxima corriente de arranque pico 350A y 8ms de duración
- Máxima corriente de cortocircuito DC 3000 A

Estos equipos están ideados para su conexión a red dedicada con esquema de conexión IT, con ningún punto de alimentación puesto directamente a tierra. El campo fotovoltaico debe instalarse aislado de tierra en la llamada configuración flotante para asegurar protección contra contactos directos e indirectos. En caso de requerirse aterramiento de cualquier circuito DC de la instalación, se debe instalar mediante un Kit de puesta a tierra. Se muestra a continuación un esquema eléctrico del equipo:

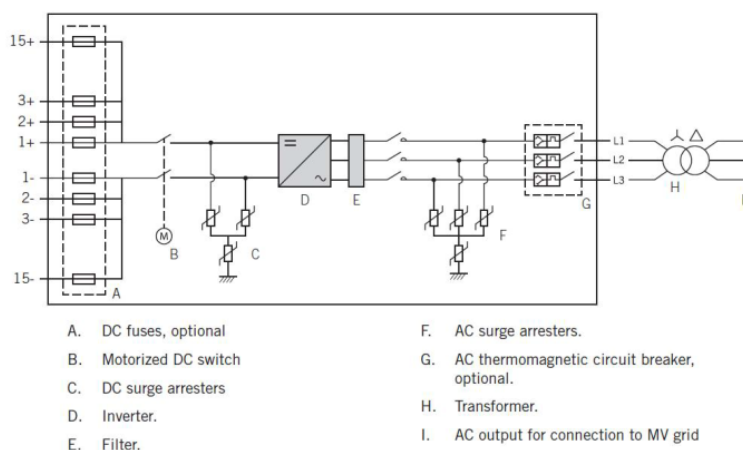


Imagen 1. Sistema eléctrico del equipo [7]

2.2. PARTES CONSTITUTIVAS

El equipo posee dos partes muy diferenciadas, el armario de acometidas y el de potencia.



Imagen 1. Armario acometidas y de potencia de equipo *Monoblock* [7]

En el armario de acometidas, además del conexionado DC y AC se sitúan los fusibles DC, contactor motorizado DC y el interruptor automático AC. En la siguiente imagen se pueden observar las partes más significativas:

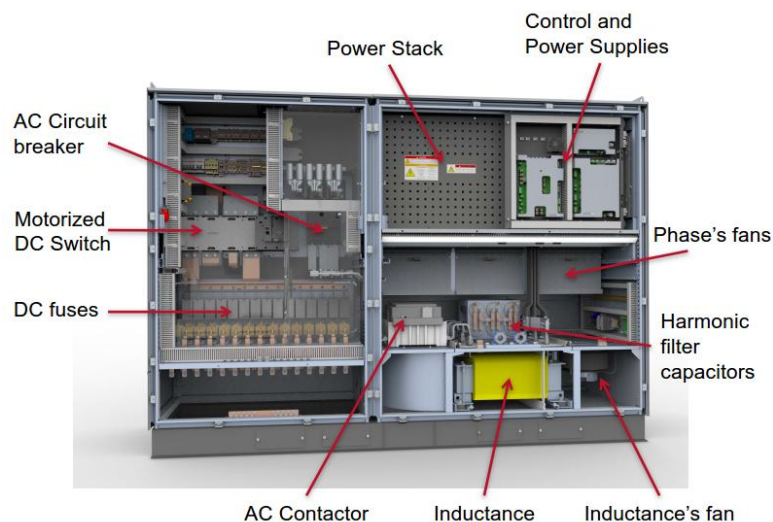


Imagen 2. Interior de armario acometidas y de potencia [7]

3. ENSAYOS HALT

3.1. FUNDAMENTO TEÓRICO

Los ensayos HALT (*high accelerated life testing*) son un método relativamente nuevo de testeo de productos. Cada vez más son las empresas que los implementan en un rango tan amplio que abarca desde bienes de consumo hasta equipo aeroespacial (incluyendo *smartphones*, ventiladores, discos duros, servomotores, dispositivos GPS, equipo médico...). Estos ensayos son llevados a cabo durante la fase de prototipado del producto y durante la primera etapa de vida del mismo. La diferencia principal con métodos de ensayo estándar es que pretenden causar faltas durante el mismo y no sólo demostrar conformidad respecto a unas especificaciones de diseño; no son ensayos de producción.

La filosofía detrás de estas pruebas es la de localizar los mecanismos predominantes de fallo en el producto, así como identificar márgenes operativos y de destrucción. En multitud de casos, el mecanismo de fallo principal son fallos de diseño, de producción o de desgaste y por ello cuando se da este caso se debe asegurar que se produzca fuera del rango de expectativa del cliente y del período de garantía. No se debe olvidar que todas estas pruebas tienen un costo asociado al aseguramiento de la fiabilidad de un producto y hoy día es de vital importancia realizarlo de la manera más eficiente posible; aumentando la eficacia de los ensayos y reduciendo el coste. Los ensayos HALT permiten comprobar la fiabilidad de un producto aplicando estrés térmico y mecánico de forma gradual. Además permiten realizarlo en un intervalo de tiempo reducido, reduciendo por tanto el coste. En definitiva, su objetivo es mejorar la calidad y robustez en el diseño del producto lo más temprano posible y de manera rápida, reduciendo de esta manera el costo asociado a la localización tardía de faltas, disconformidades y consecuentes modificaciones. Cabe destacar que estos ensayos pueden ser llevados a cabo tanto en partes individuales (mecánicos o tarjetas electrónicas) como en ensamblajes completos (inversor fotovoltaico) [2]. Las ventajas principales se muestran a continuación [3]:

- Rapidez en la detección de las limitaciones en el diseño
- Permiten evaluar y mejorar los márgenes de diseño
- Incrementan la fiabilidad del diseño
- Reducen el tiempo y el coste del desarrollo
- Eliminan problemas de diseño antes de alcanzar la fabricación
- Herramienta de diseño que ayuda a evaluar cambios

3.1.1. Motivación y necesidad

Los ensayos HALT son una tendencia de la industria hoy día. Estos ensayos son cada vez más reclamados por distintos clientes de la empresa, la cual aspira a incluir en sus productos. Estos ensayos se enmarcan dentro del programa de fiabilidad, definida como “habilidad de un sistema o componente para desempeñar la función para la que ha sido diseñado en unas determinadas condiciones y durante un tiempo especificado” [4].

El test HALT puede ser llevado a cabo múltiples veces a lo largo de la vida del producto. Durante la fase de prototipos puede identificar debilidades y por lo tanto aumentar sus márgenes de operación aumentando su fiabilidad. Se debe tener en cuenta que es necesario llevar a cabo acciones correctivas en caso de encontrar faltas o disconformidades dentro de márgenes de diseño; sólo en el caso en el que se haya localizado y comprendido el origen de dicha falta, lo cual requerirá análisis en profundidad y posteriores ensayos. Por último, también se puede utilizar una vez el producto se encuentra en el mercado para comprobar su fiabilidad tras cambios de componentes, procesos productivos, cambio de distribuidor etc.

Fiabilidad: fase diseño	Fiabilidad: fase prototipos	Fiabilidad: fase producción
Análisis elementos finitos	Análisis ambiental	HASS
Selección materiales	Verificación diseño	Repuestos
Diseño de experimentos	HALT	Análisis desempeño garantía
Análisis dinámico	Fatiga y fractura	Fin de vida de producto
Confiabilidad software	ALT	HALT

Tabla 1. Pruebas fiabilidad en fases producto

A lo largo de este proyecto se establecen unas bases para realizar estos ensayos y poco a poco incluirlos como parte del diseño de los diferentes equipos. Debido a la no disponibilidad de equipos y cámaras para realizar la totalidad de los ensayos HALT, este proyecto se centrará en los ensayos HSS (*hot step stressing*), CSS (*cold step stressing*) y RTC (*rapid thermal cycling*).

3.1.2. Metodología

Una prueba HALT se compone de:

- *Cold Step Stressing (CSS)*
- *Hot Step Stressing (HSS)*
- *Rapid Thermal Cycling (RTC)*
- *Vibration Step Stressing (VSS)*
- *Combined Environments (CE)*

En cada uno de estos ensayos se aplican tensiones de diferente naturaleza (mecánica y/o térmica) de manera controlada y gradual. Se irá monitorizando el comportamiento del equipo de modo que se descubran los límites del producto, tanto operativos como de destrucción. En la siguiente imagen se ilustran dichos límites:

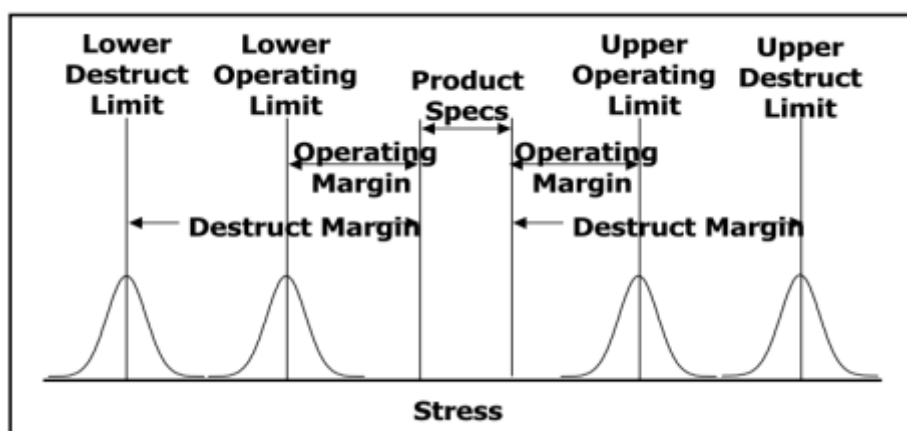


Imagen 3. Límites del producto.

Fuente: HALT vs ALT, IEEE Reliability Society, Mike Silverman [2]

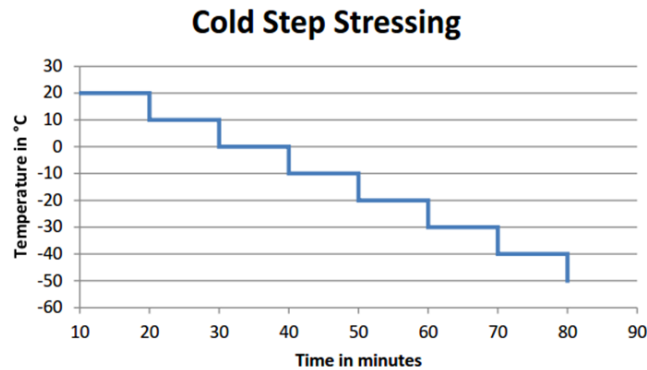
A dichos esfuerzos se les pueden incluir:

- Encendido y apagado de la alimentación
- Variación de tensión de entrada
- Según aplicación

Debido a las limitaciones en la equipación, solo es posible realizar los ensayos CSS y HSS en los laboratorios de Ingeteam Energy de Sarriguren. A continuación se detallan HSS, CSS y RTC:

Cold Step Stressing (CSS)

En esta prueba se aplican saltos térmicos múltiples, cada uno de 10° cada uno. Se comienza a una temperatura ambiente de 20° y se va decrementando hasta que la tarjeta no cumple alguna de las especificaciones. Se debe tener en cuenta que es necesario un tiempo de estabilización de cómo mínimo 10 minutos para que la tarjeta de prueba alcance la temperatura deseada. En cada salto y tras la estabilización se realizará un test funcional. En el momento en el que se detecta un fallo en las mediciones, se para el test y se analiza. Si es posible, se parchea (dejando para más adelante un análisis en profundidad) y se continua con el test hasta alcanzar el límite del equipamiento de testeo o con la tecnología bajo test.



Gráfica 1. Gráfica que muestra la evolución de la temperatura ambiente en un test CSS

Con este ensayo se alcanza el *Lower Operating Limit* y, potencialmente, el *Lower Destruct Limit*.

El siguiente diagrama de flujo ilustra el procedimiento de ensayo CSS:

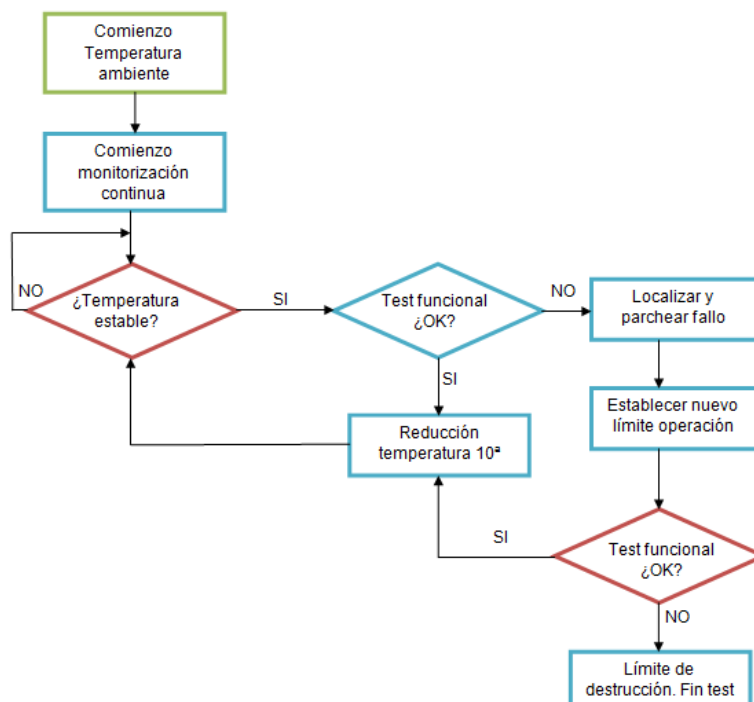
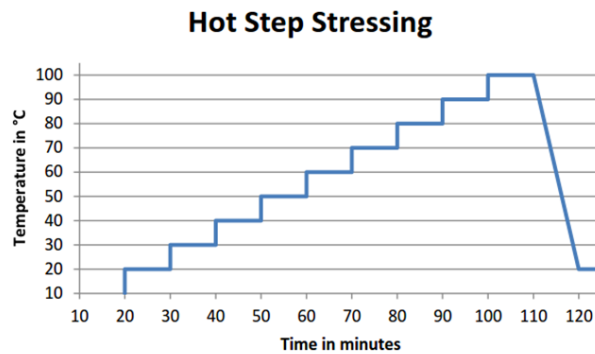


Imagen 4. Diagrama de flujo ensayo CSS

Hot Step Stressing (HSS)

En esta prueba se aplican saltos térmicos múltiples, cada uno de 10° cada uno. Se comienza a una temperatura ambiente de 20° y se va incrementando hasta que la tarjeta no cumple alguna de las especificaciones. Se debe tener en cuenta que es necesario un tiempo de estabilización de cómo mínimo 10 minutos para que la tarjeta de prueba alcance la temperatura deseada. En cada salto y tras la estabilización se realizará un test funcional. En el momento en el que se detecta un fallo en las mediciones, se para el test y se analiza. Si es posible, se parchea (dejando para más adelante un análisis en profundidad) y se continua con el test hasta alcanzar el límite del equipamiento de testeo o con la tecnología bajo test.



Gráfica 2. Gráfica que muestra la evolución de la temperatura ambiente en un test HSS

Con este ensayo se alcanza el *Upper Operating Limit* y, potencialmente, el *Upper Destruct Limit*.

El siguiente diagrama de flujo ilustra el procedimiento de ensayo HSS:

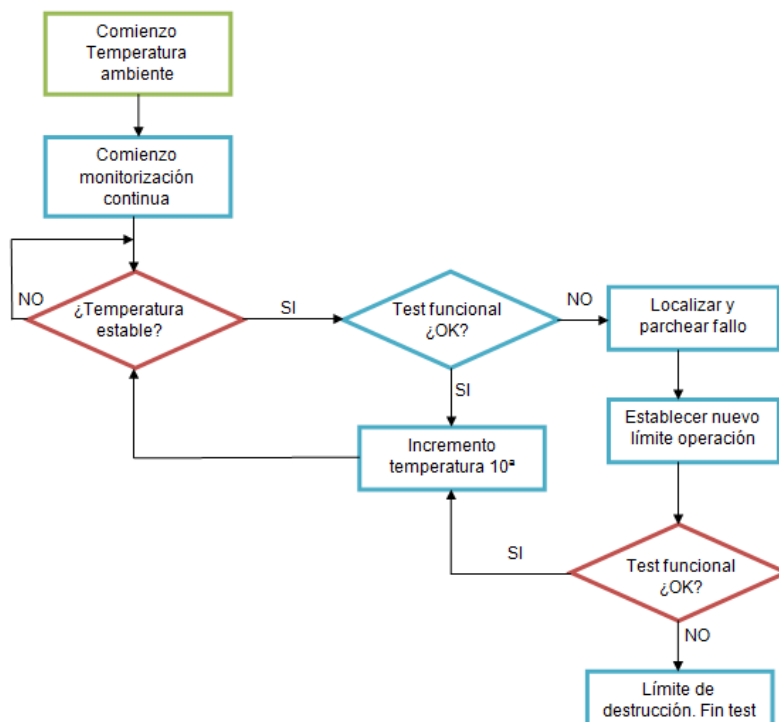
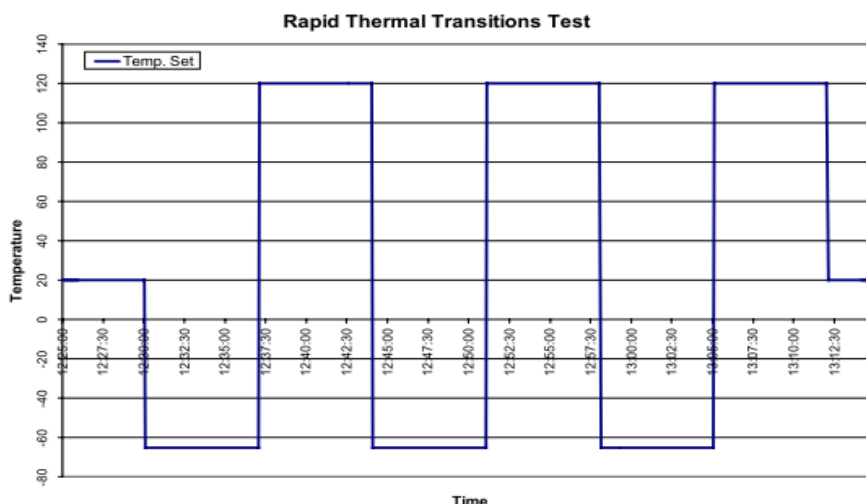


Imagen 5. Diagrama de flujo de ensayo HSS

Rapid Thermal Cycling (RTT)

Durante este ensayo se pretende realizar variaciones de temperatura muy rápidas, con gradientes de 60°C/min o mayores, entre los límites de operación encontrados en las anteriores pruebas. Se analizan los posibles fallos que aparecen y si no se toleran las transiciones se debe repetir el ensayo con un menor gradiente térmico en la cámara (disminuyéndolo en 10°C/min).



Gráfica 3. Ejemplo ensayo RTC

3.2. MATERIAL E INSTRUMENTACIÓN

A continuación se ofrece una descripción del equipo utilizado durante los ensayos, así como de la cámara climática:

Tipología	Marca	Modelo	Código interno
Osciloscopio	Yokogawa	DLM2024	IDOS14
Multímetro	Fluke	287	ADMU06
Multímetro	Fluke	177	ADMU14
Multímetro	Fluke	177	ADMU04
Sonda diferencial	PICO Technology	TA042	IDSDT44
Sonda diferencial	PICO Technology	TA042	IDSDT45
Sonda diferencial	PICO Technology	TA042	IDSDT40
Registrador datos	Agilent	34972A	IDRE05
Fuente DC	HQ Power	PS613	-
Fuente DC	Topward	6303AS	IDF06
Tarjeta multiplexora	Agilent	34901A	IDM03

Tabla 2. Instrumentación

■ DC Measurement and Operating Characteristics

DC Measurement Characteristics ^[1]		DC Operating Characteristics ^[5]		
DC Voltage		Function	Digits ^[6]	Readings/s
Measurement Method:	Continuously Integrating, Multi-slope III A/D Converter	DCV, DCI, and Resistance:	6½	0.6 (0.5)
A/D Linearity:	0.0002% of reading + 0.0001% of range		6½	6 (5)
Input Resistance:			5½	60 (50)
100 mV, 1 V, 10 V ranges	Selectable 10 MΩ or >10 GΩ		5½	300
100 V, 300 V ranges	10 MΩ ±1%		4½	600
Input Bias Current:	< 30 pA at 25 °C			
Input Protection:	300 V on all ranges			
Resistance		Single Channel Measurement Rates ^[8]		
Measurement Method:	Selectable 4-wire or 2-wire Ohms, Current source references to LO input	Function	Resolution	Readings/s
Offset Compensation:	Selectable on 100Ω, 1 kΩ, 10 kΩ ranges	DCV, 2-Wire Ohms:	6½ (10 PLC)	6 (5)
Max. Lead Resistance:	10% of range per lead for 100Ω and 1 kΩ ranges, 1 kΩ on all other ranges		5½ (1 PLC)	53 (47)
Input Protection:	300 V on all ranges		4½ (0.02 PLC)	490
DC Current		Thermocouple:	0.1 °C (1 PLC)	49 (47)
Shunt Resistance:	5Ω for 10 mA, 100 mΩ; 0.1Ω for 1A		(0.02 PLC)	280
Input Protection:	1.5A 250 V fuse on 34901A module	RTD, Thermistor:	0.01 °C (10 PLC)	6 (5)
			0.1 °C (1 PLC)	47 (47)
			1 °C (0.02 PLC)	280
Thermocouple		Autozero OFF Operation		
Conversion:	ITS-90 software compensation	Following instrument warm-up at calibration temperature ±1 °C and < 10 minutes, add 0.0002% range additional error + 5 μV.		
Reference Junction Type:	Internal, Fixed, or External	Settling Considerations		
Open T/C Check:	Selectable per channel. Open > 5 kΩ	Reading settling times are affected by source impedance, low dielectric absorption characteristics, and input signal changes.		
RTD	α = 0.00385 (DIN) and 0.00391			
Thermistor	44004, 44007, 44006 series			
Measurement Noise Rejection 60 Hz (50 Hz) ^[2]				
DC CMRR:	140 dB			
Integration Time	Normal Mode Rejection ^[3]			
200 PLC / 3.33s (4s)	110 dB ^[4]			
100 PLC / 1.67s (2s)	105 dB ^[4]			
20 PLC / 333 ms (400 ms)	100 dB ^[4]			
10 PLC / 167 ms (200 ms)	95 dB ^[4]			
2 PLC / 33.3 ms (40 ms)	90 dB			
1 PLC / 16.7 ms (20 ms)	60 dB			
< 1 PLC	0 dB			

- [1] 300 Vdc isolation voltage (ch-ch, ch-earth)
 [2] For 1 kΩ unbalance in LO lead
 [3] For power line frequency ±0.1%
 [4] For power line frequency ±1%, use 80 dB.
 For power line frequency ±3%, use 60 dB.
 [5] Reading speeds for 60 Hz and (50 Hz) operation; autozero OFF
 [6] 6½ digits=22 bits, 5½ digits=18 bits, 4½ digits=15 bits
 [7] Add 20 μV for DCV, 4 μA for DCI, or 20 mΩ for resistance
 [8] For fixed function and range, readings to memory, scaling and alarms off, autozero OFF

Tabla 5. Características registrador de datos II

General		34901A
Number of Channels		20+2
		2/4 wire
Connects to Internal DMM		Yes
Scanning Speed ^[1]		60 ch/s
Open/Close Speed		120/s
Maximum Input		
Voltage (dc, ac rms)		300 V
Current (dc, ac rms)		1 A
Power (W, VA)		50 W
Isolation (ch-ch, ch-earth)	dc, ac rms	300 V
DC Characteristics		
Offset Voltage ^[2]		< 3 μV
Initial Closed Channel R ^[2]		< 1 Ω
Isolation (ch-ch, ch-earth)		> 10 GΩ
AC Characteristics		
Bandwidth		10 MHz
Ch-Ch Cross Talk (dB) ^[3]	10 MHz	-45
Capacitance	HI to LO	< 50 pF
Capacitance	LO to Earth	< 80 pF
Volt-Hertz Limit		10 ⁸
Other		
T/C Cold Junction Accuracy ^{[2] [5]}	(typical)	0.8 °C
Switch Life	No Load (typical)	100M
^[6] Switch Life	Rated Load (typical)	100k

Tabla 6. Características registrador de datos III

3.3. ELEMENTOS ENSAYADOS

3.3.1. Tarjeta de sincronización mediante fibra óptica

3.3.1.1. Descripción en detalle

Esta tarjeta tiene como función principal la de sincronizar los disparos de varios equipos *MonoBlock*, trabajando en paralelo contra un devanado común del transformador. Dicha sincronización es necesaria para minimizar las tensiones de modo común que aparecen entre equipos causadas por las conmutaciones [8].

La tarjeta de fibra es capaz de sincronizar hasta 4 equipos en paralelo mediante fibra óptica debido a la inmunidad al ruido y la velocidad y precisión en la transmisión. Posee un sistema de detección de fallos que evita que un equipo que no esté sincronizado funcione. La tarjeta se alimenta a través de 24 V de la fuente DC/DC del equipo y es capaz de seguir funcionando cuando se produzcan huecos de tensión.

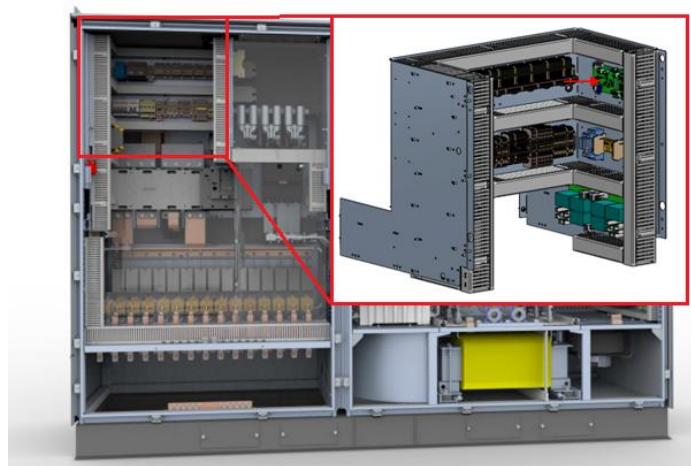


Imagen 6. Tarjeta sincronización fibra óptica (flecha roja) [7]

El sistema de sincronismo es en estrella, el cual tienen un único maestro. Dicho maestro genera una señal cuadrada de referencia que es repetida por los esclavos. Las tarjetas configuradas como esclavos no son capaces de generar pulsos de manera autónoma.

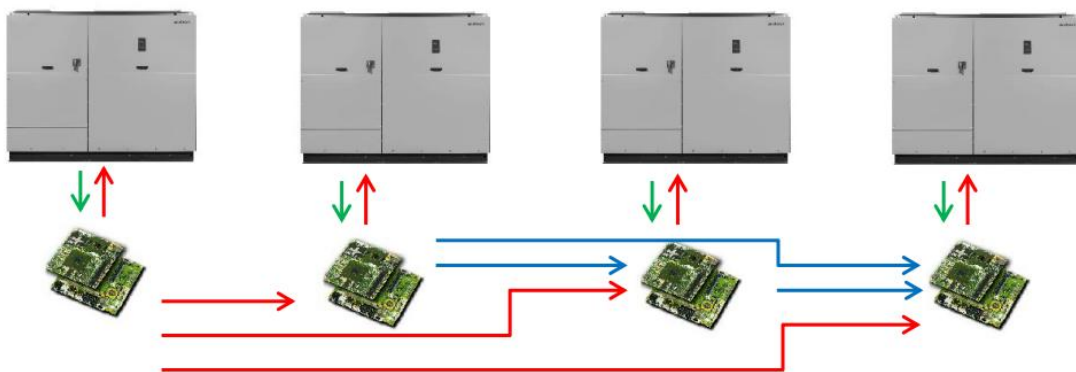


Imagen 7. Sistema conexión estrella.

Maestro emite pulsos y sincroniza con esclavos (cables rojos). Se añaden cables adicionales para aumentar la comodidad en caso de cambio o fallo (cable azul) [8]

3.3.1.2. Planteamiento

En el presente documento se detalla el ensayo HALT realizado sobre la tarjeta de sincronización de fibra óptica del modelo *Monoblock*. Durante el mismo se medirán tensiones de alimentación, frecuencias, retardos de disparo entre tarjetas y se comprobará la lógica implementada en las tarjetas.

Cabe destacar que el objetivo de los ensayos es conocer la situación de los límites de operación y destrucción del equipo como fuente de mejora en el diseño. Es por ello por lo que no se establecen previamente las condiciones más desfavorables para ella; el objetivo real es testear la electrónica asociada a la misma y comprobar sus límites; es por ello por lo que se monitorizan todos sus valores. Así pues, no es un test para comprobar su funcionamiento, sino para tener información sobre el nivel de las señales que maneja la tarjeta, como se explica en el apartado 3.1.

Además el ensayo se realizará, a ser posible con dos tarjetas en el interior de la cámara, monitorizadas de forma simultánea, una funcionando como maestro y otra como esclavo pero no conectadas entre sí. Cada una de ellas se conectará con sendas tarjetas exteriores cuya función será la opuesta a la cual se conectan. A continuación se ilustra dicha configuración:

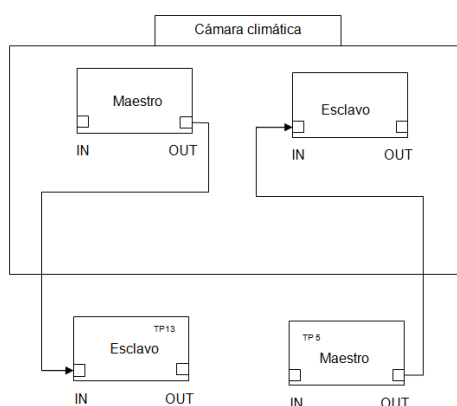


Imagen 10. Disposición bancada ensayos fibra I

El presente ensayo consiste de dos partes diferenciadas; ensayo funcional y ensayo de monitorización continua. En los apartados siguientes se detalla cada uno de ellos, así como la metodología utilizada.

Para la realización del ensayo será necesario el siguiente equipamiento:

- Osciloscopio
- Sondas diferenciales de tensión
- Multímetros
- Registrador de datos
- Software Benchlink Data Logger
- Sensores de temperatura
- Fuente de alimentación 24 V variable
- Cable de fibra óptica de 10m (el que lleva el equipo *Monoblock*)

3.3.1.2.1. Ensayo funcional

Este tipo de ensayo consiste en la comprobación del correcto funcionamiento durante el ensayo HALT de semiconductores, entradas y salidas digitales, activaciones de relés, captaciones etc.

El procedimiento consiste en que, una vez realizado cada salto de temperatura y estabilizada la lectura, se realicen las comprobaciones y medidas pertinentes. A continuación se detallan cada una de ellas:

- Tensión de alimentación P5: se comprueba el valor de tensión entregada por el regulador de tensión LMZ14203TZ-ADJ. Se medirá dicha tensión en cada salto, tras la estabilización, variando la alimentación

del regulador de 24 ± 1 V. Se tolerará una variación en la tensión de salida P5 de cómo máximo un $\pm 10\%$ respecto al valor nominal ($5 \pm 0,5$ V), debido a las necesidades de funcionamiento de los circuitos que alimenta (los dispositivos lógicos del circuito funcionan con una alimentación de 4,5 – 5,5 V, y son la mayor restricción del mismo). La medida se realizará en TP1.

- **Disparo de las fibras:** tras cada salto de temperatura y la estabilización del sistema se procederá a retirar el cable de fibra óptica del receptor (si se está ensayando una tarjeta como maestro, en el exterior se tendrá una tarjeta esclava). Apuntando la fibra hacia una superficie (nunca mirar fijamente) se comprobará que se está emitiendo señal, en forma de una luz pulsante roja.
- **Emisor de fibra óptica:** mediante un osciloscopio se medirá en los puntos TP 5, TP 6, TP 8 y TP 12 y se comprueba tanto la forma de onda (complementaria respecto a SYNCH_IN y de frecuencia 3 kHz. La tarjeta a medir se encontrará funcionando como maestro (en modo esclavo no debe emitir). Se aceptará una variación menor al 1% con respecto a la frecuencia deseada, es decir, ± 30 Hz.
- **CLOCK y SYNCH_IN:** se pretende comprobar que, a pesar de la variación en la tensión de alimentación y los cambios de temperatura, las frecuencias de las señales CLOCK (6 kHz) y SYNCH_IN (3 kHz) se mantienen dentro de rangos estables. Se medirán en TP4 y TP10 respectivamente
- **Retardo de sincronización entre tarjetas:** se miden dos tipos de retardos:

- **Retardo 1:** Retardo entre la emisión del pulso de sincronización de una tarjeta maestro y su recepción por parte del esclavo. Este paso incluye la emisión de señal eléctrica de transmisión, su transformación en luz, emisión en cable de fibra óptica, recepción de dicha luz por parte del esclavo y su posterior conversión a señal eléctrica. Se medirá pues la diferencia entre las señales de emisión del maestro con la recepción (SYNCH_EXT) del receptor esclavo. La emisión del maestro puede medirse en TP5 y SYNCH_EXT se puede medir en TP13. Para esta prueba la configuración del banco de pruebas será la siguiente:

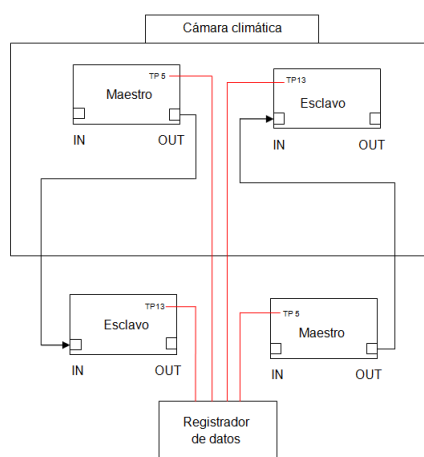


Imagen 11. Disposición bancada ensayos fibra II

- **Retardo 2:** Retardo entre la emisión del pulso de sincronización de una tarjeta maestro y su recepción por parte del esclavo auxiliar (denotado como “esclavo”). De no disponer de otra tarjeta para realizar esta función, se utilizará un circuito detector de sincronización de entrada (ver esquema ABK0074IBB001). Se medirá las diferencias entre las señales SYNCH_EXT de cada esclavo con las señales SYNCH_EXT de las tarjetas receptoras conectadas a los mismos (denotados como esclavo’).

Para la realización de esta prueba se tendrá la siguiente configuración:

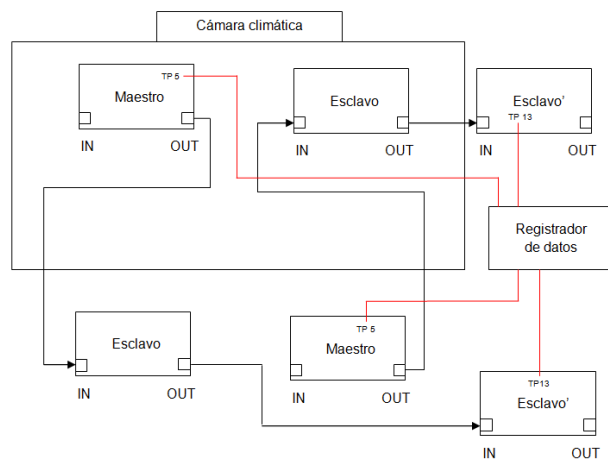


Imagen 12. Disposición bancada ensayos fibra III

Los anteriores montajes tienen fines explicativos, ya que el montaje final será el siguiente:

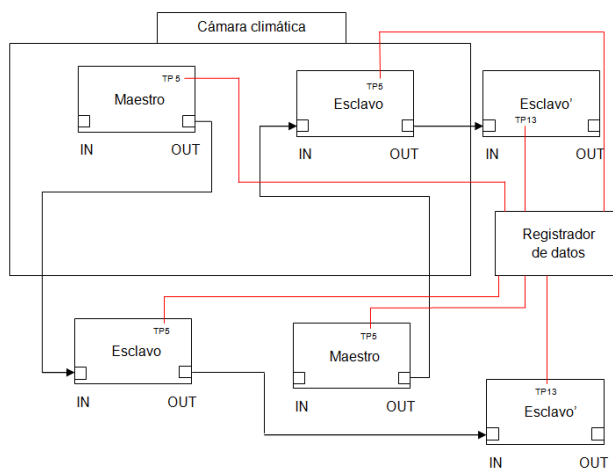


Imagen 13. Disposición final banco de ensayos

Se considerará la prueba válida si el retraso en el disparo de las fibras es menor de 1 us.

- Implementación tabla de verdad: se pretende comprobar el funcionamiento de la lógica de disparo representada en la siguiente tabla de verdad:

ENTRADA EXTERNA	CONFIGURACIÓN	
	MAESTRO	ESCLAVO
SI	FALLO(No debe generar señal a la salida)	OK (Repite la señal que recibe por la entrada)
NO	OK (Genera señal a la salida)	FALLO(No debe generar señal a la salida)

Tabla 8. Tabla verdad tarjeta fibra óptica

La casuística se muestra a continuación:

- Tarjeta a ensayar como **maestro**: la tarjeta en cuestión se encontrará dentro de la cámara climática y en el exterior se situará otra en configuración esclavo. Se preparan cables de fibra óptica conectados a tanto la entrada como la salida de la tarjeta maestro. En el exterior se conectará el cable de salida del

maestro a la entrada del esclavo (situado en el exterior de la cámara), dejando el cable que se conecta a la entrada del maestro desconectado de la salida del esclavo.

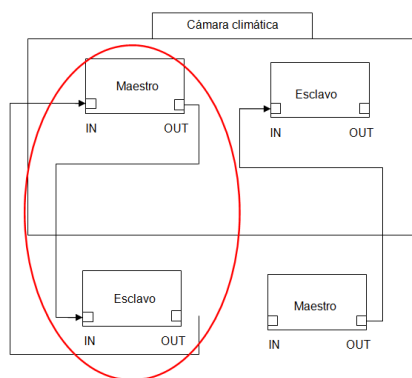


Imagen 14. Configuración implementación tabla de verdad 1

Se comprobará:

- Señal en TP5, TP6, TP8 y TP12 debe ser complementaria de SYNCH_IN.
- Señal SYNCH_EXT en TP13 debe estar a 0.
- Señal EXT_OFF en TP9 debe estar a 1 (5V).
- Señal EXT_ON en TP11 debe estar a 0.
- Se comprueba visualmente la activación del LED D6.

Una vez realizadas estas comprobaciones se desconectará el cable en la entrada de la tarjeta esclavo (exterior de la cámara), se conectará el cable suelto a su salida y se cambiará el funcionamiento de dicha tarjeta de esclavo a maestro, de modo que comenzará a emitir. Se comprobará:

- Señal en TP5, TP6, TP8 y TP12 debe ser nula.
- Señal SYNCH_EXT en TP13 debe estar a 1 (5V).
- Señal EXT_OFF en TP9 debe estar a 0.
- Señal EXT_ON en TP11 debe estar a 1 (5V).
- Se comprueba visualmente la activación del LED D6.

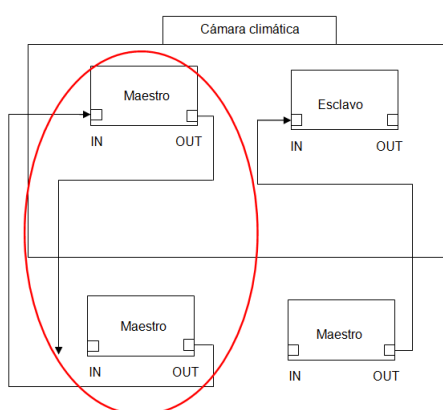


Imagen 15. Implementación tabla de verdad 2

- Tarjeta a ensayar como **esclavo**: la tarjeta en cuestión se encontrará dentro de la cámara climática y en el exterior se situará otra en configuración maestro, de modo que genere señal de sincronización. Se conecta un cable de fibra óptica que conecte el equipo exterior (maestro) con el interior (esclavo). La configuración se puede observar en las figuras 10 y 11.

Se comprobará:

- Señal en TP5, TP6, TP8 y TP12 debe ser duplicada negada de la que llega desde el Maestro.
- Señal SYNCH_EXT en TP13 debe estar a 1.
- Señal EXT_OFF en TP9 debe estar a 0.
- Señal EXT_ON en TP11 debe estar a 1.
- Se comprueba visualmente la activación del LED D7.

Una vez realizadas estas comprobaciones se desconectará el cable en la entrada de la tarjeta esclavo, de modo que deje de recibir la señal de sincronización externa.

Se comprobará:

- Señal en TP5, TP6, TP8 y TP12 debe ser nula.
- Señal SYNCH_EXT en TP13 debe estar a 0.
- Señal EXT_OFF en TP9 debe estar a 1.
- Señal EXT_ON en TP11 debe estar a 0.
- Se comprueba visualmente la activación del LED D7

Al finalizar los ensayos pertinentes se volverá a configurar en la posición inicial.

3.3.1.2.2. Ensayo de monitorización continua

Mediante este test, se obtiene información acerca de los valores que toman las distintas variables adquiridas por el registrador de datos a lo largo del tiempo según se varía la temperatura. Este se lleva a cabo de forma simultánea a las pruebas CSS y HSS.

Se tomarán medidas cada 20 segundos mediante un osciloscopio y los datos serán analizados in-situ pero serán tratados y analizados posteriormente.

- Tensión de alimentación P5: se monitoriza de forma continua el valor de tensión entregada por el regulador de tensión LMZ14203TZ-ADJ. Se tolerará una variación en la tensión de salida P5 de como máximo un $\pm 10\%$ respecto al valor nominal ($5 \pm 0,5$ V), debido a las necesidades de funcionamiento de los circuitos que alimenta (los dispositivos lógicos del circuito funcionan con una alimentación de 4,5 – 5,5 V, y son la mayor restricción del mismo).
- Tensión de alimentación P24: se monitoriza de forma continua el valor de tensión de alimentación del circuito para poder comprobar el efecto de su variación en el resto de parámetros.
- Frecuencia de oscilación CLOCK: se mide la frecuencia de oscilación generada por el oscilador LTC6900. Se comprobará mediante un osciloscopio en TP4 que dicha frecuencia es 6000 Hz, ya que el rango de mayor precisión del oscilador está entre 5 kHz y 10 MHz. Según los requisitos de diseño se aceptará una variación menor del 1%, es decir, ± 60 Hz.
- División de frecuencia SYNCH_IN: se mide la frecuencia de oscilación generada por el divisor de frecuencia 74VHC393. Se comprobará mediante un osciloscopio en TP10 que dicha frecuencia es 3000 Hz, que es la frecuencia de conmutación del *Monoblock*. Según los requisitos de diseño se aceptará una variación menor del 1%, es decir, ± 30 Hz.
- Temperaturas: es necesario monitorizar las temperaturas tanto del ambiente como de la propia PCB.

3.3.1.3. Resultados

Se realizan ensayos CSS y HSS sobre la tarjeta ABK0074 en la cámara climática del laboratorio de Ingeteam en Sarriguren. A continuación se muestra la bancada de ensayos:



Imagen 16. Tarjeta fibra óptica en interior de la cámara

Para el ensayo son necesarios tarjetas auxiliares que actúen como esclavos y/o maestros en el exterior de la cámara:



Imagen 17. Registrador de datos y tarjeta multiplexora

Durante el ensayo se pretende conocer la situación de los límites de operación y destrucción del diseño de las tarjetas. A continuación se muestran los resultados obtenidos en tres de las cinco fases que componen un ensayo completa HALT (CSS y HSS). Las pruebas han sido realizadas en el laboratorio de Ingeteam Energy en Sarriguren.

3.3.1.3.1. Resultados del test funcional

En el presente apartado se presentan los resultados correspondientes a los test funcionales, correspondientes a los ensayos HSS y CSS, realizados después de cada escalón de temperatura y tras la estabilización de la misma.

Una vez realizados los ensayos se realizará el cálculo de las desviaciones en cada punto del test funcional. Como el objetivo es comprobar la desviación debido exclusivamente al incremento de temperatura, se realiza la diferencia entre el máximo y mínimo obtenidos.

El porcentaje de variación ha sido calculado como:

$$Desviación(\%) = \frac{Medida\ realizada - Valor\ esperado}{Valor\ esperado} * 100$$

Y la variación de la misma:

$$\Delta Desviación(\%) = Max(\%) - Min(\%)$$

Siendo Max(%) y Min(%) los porcentajes de las variaciones máximas y mínimas respectivamente.

3.3.1.3.1.1. Ensayo HSS

Tarjeta :		Sincronización fibra óptica HSS										
Hora		10:20	10:40	11:00	11:20	11:40	12:00	12:20	12:40	13:00	13:20	13:40
Ambiente	Consigna temperatura (°C)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
	Temperatura cámara (°C)	18,50	26,42	34,94	44,21	52,53	61,38	71,72	81,26	89,67	9,15	109,29
	Temperatura PCB (°C)	19,27	29,59	39,02	48,52	58,53	68,7	77,38	87,03	96,51	106,15	116,70
PCB exterior: ESCLAVO	Tensión P5 a 24V (V)	5,057	5,034	5,036	5,038	5,051	5,049	5,051	5,051	5,052	5,053	5,056
	Tensión P5 a 25V (V)	5,055	5,035	5,047	5,050	5,049	5,048	5,056	5,052	5,053	5,053	5,061
	Tensión P5 a 23V (V)	5,057	5,034	5,038	5,038	5,038	5,039	5,053	5,050	5,051	5,050	5,050
	Frecuencia CLOCK (kHz)	5,996	6,002	6,003	6,004	6,006	6,007	6,008	6,010	6,010	6,010	6,009
	Frecuencia SYNCH_IN (kHz)	2,997	3,001	3,001	3,002	3,003	3,004	3,004	3,005	3,005	3,005	3,004
	Disparo fibras	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO OK
	Retardo 1 (ns)	455	456	456	456	460	466	468	472	474	490	-
	Retardo 2 (ns)	466	466	468	468	468	468	468	468	468	468	-
	Transmisor 1 (TP5)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	Transmisor 2 (TP6)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	Transmisor 3 (TP8)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	Transmisor 4(TP12)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
PCB interior: MAESTRO	SYNCH_EXT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	EXT_OFF	4,96	4,96	4,96	4,97	4,97	4,97	4,97	4,97	4,97	4,97	4,97
	Corriente (mA)	22,04	22,3	22,39	22,69	22,31	21,91	22,65	22,79	22,19	24,05	22,01
	EXT_ON	0,035	0,034	0,034	0,037	0,039	0,04	0,043	0,045	0,047	0,049	0,052
	LED D6	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
TEST(OK/ NO OK)		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO OK

Tabla 9. Ensayo funcional HSS tarjeta fibra óptica I

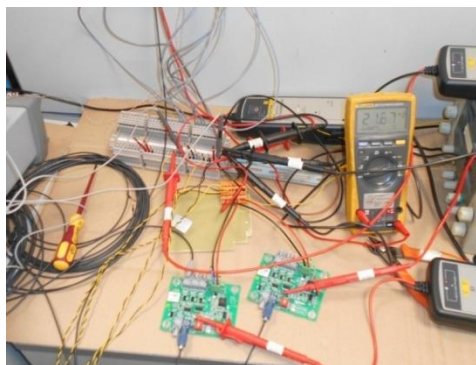


Imagen 18. Tarjetas auxiliares y aparamenta de medida

Sincronización fibra óptica HSS															
Hora		10:20	10:40	11:00	11:20	11:40	12:00	12:20	12:40	13:00	13:20	13:40	MAX (%)	MIN (%)	Δ (%)
DESVIACIÓN(%)															
MEDIDAS	Consigna T ^a	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	-	-	-
	T ^a PCB	18,50	26,42	34,94	44,21	52,53	61,38	71,72	81,26	89,67	9,15	109,29	-	-	-
	P5 24V	1,14	0,68	0,72	0,76	1,02	0,98	1,02	1,02	1,04	1,06	1,12	1,14	0,68	0,46
	P5 a 25V	1,1	0,7	0,94	1	0,98	0,96	1,12	1,04	1,06	1,06	1,22	1,22	0,7	0,52
	P5 a 23V	1,14	0,68	0,76	0,76	0,76	0,78	1,06	1,00	1,02	1,00	1,00	1,76	0,68	1,08
	CLOCK	-0,067	0,033	0,050	0,067	0,100	0,117	0,133	0,167	0,167	0,167	0,150	0,167	-0,067	0,233
	SYNCH_IN	-0,100	0,033	0,033	0,067	0,100	0,133	0,133	0,167	0,167	0,167	0,133	0,167	-0,100	0,267
	Retardo 1*	-54,5	-54,8	-54,4	-54,4	-54	-53,4	-53,2	-52,8	-52,6	-51	-	-51,0	-54,8	10,6
	Retardo 2*	-53,4	-53,4	-53,2	-53,2	-53,2	-53,2	-53,2	-53,2	-53,2	-53,2	-	-53,2	-53,4	0,2
	TEST OK/NO OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO OK	OK	OK	OK

Tabla 10. Ensayo funcional HSS tarjeta fibra óptica II

*Las desviaciones para Retardo 1 y Retardo 2 han sido calculadas con la fórmula indicada en apartado 2.1.1 utilizando como valor esperado 1 us, valor máximo admitido según ABK0074IFJ01.

Durante el ensayo HSS se obtuvo un fallo en la recepción del pulso de sincronización en el esclavo (exterior de la cámara). Analizando las lecturas obtenidas se constató que tanto la señal de CLOCK como SYNCH_IN se encontraban dentro de los márgenes correctos; se barajó la posibilidad de fallo en Mosfet o en el emisor de fibra, pero tras comprobar que las señales en los transmisores eran correctas (TP5), se descartó el fallo en el transistor. En este punto se bajó la temperatura 10°C, para ver si recuperaba, pero no

ocurrió. Se disminuyó la temperatura otros 10°C y siguió sin recuperar. La falta se mantuvo incluso al disminuir la temperatura hasta 20°C. El fallo se analizó en detalle a posteriori. Tras la realización de este ensayo, se procede a una última prueba funcional: comprobación de la lógica maestro – esclavo (de disponer de suficiente cable de fibra y tarjetas se puede realizar de manera simultánea al resto de ensayos funcionales, como se indica en el documento ABK0074IFK02). Inmediatamente después de la prueba y manteniendo la temperatura se abre la cámara climática y se realiza la conexión pertinente de otro cable auxiliar.

Se comprueba que (estando Maestro en pruebas recibe pulsos desde otro maestro):

- TP5, TP6, TP8 y TP12 es nula
- SYNCH_IN sigue siendo señal 3 kHz (no varía)
- SYNCH_EXT está en HIGH
- EXT_ON está en HIGH
- EXT_OFF está a LOW

3.3.1.3.1.2. Ensayo CSS

Tarjeta :		Sincronización fibra óptica CSS						
Hora		11:15	11:40	12:05	12:30	13:55	14:20	14:45
Ambiente	Consigna temperatura cámara (°C)	20	10	0	-10	-20	-30	-40
	Temperatura cámara (°C)	20,57	10,87	1,85	-7,85	-15,06	-27,64	-29,54
	Temperatura PCB (°C)	18,19	11,47	0,33	-8,88	-19,8	-29,32	30,15
PCB exterior: ESCLAVO	Tensión P5 a 24V (V)	5,057	5,051	5,021	5,019	5,017	5,018	5,017
	Tensión P5 a 25V (V)	5,057	5,053	5,021	5,019	5,019	5,018	5,017
	Tensión P5 a 23V (V)	5,057	5,052	5,021	5,019	5,019	5,018	5,017
	Frecuencia CLOCK (kHz)	5,995	5,993	5,995	5,993	5,998	5,983	5,980
	Frecuencia SYNCH_IN (kHz)	2,997	2,997	-	-	-	-	-
	Disparo fibras	OK	OK	NO OK	NO OK	NO OK	NO OK	NO OK
	Retardo 1 (ns) *	455	446	-	-	-	-	-
	Retardo 2 (ns) *	-	-	-	-	-	-	-
	Transmisor 1 (TP5)	OK	OK	-	-	-	-	-
	Transmisor 2 (TP6)	OK	OK	-	-	-	-	-
	Transmisor 3 (TP8)	OK	OK	-	-	-	-	-

Transmisor 4(TP12)	OK	OK	-	-	-	-	-
SYNCH_EXT	0	0	0	0	0	0	0
EXT_OFF	4,96	4,96	4,96	4,97	4,97	4,97	4,97
Corriente (mA)	22,00	21,89	21,91	21,88	21,9	21,91	22,65
EXT_ON	0,032	0,034	0,029	0,08	0,026	0,025	0,025
LED D6	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
TEST(OK/ NO OK)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

Tabla 11. Ensayo funcional CSS tarjeta fibra óptica I

Al llegar a los 0°C, se apreció un fallo en el disparo de fibra óptica; no se obtenía lectura de la señal SYNCH_IN en la tarjeta emisora (maestro en interior de cámara) ni de la señal SYNCH_EXT en la tarjeta receptora (esclavo exterior). Se volvió a subir la temperatura y a partir de los 10°C se recuperó la señal. Al volver a bajar se obtuvo el mismo comportamiento y se constató que la falta comenzaba a aparecer a los 6°C aproximadamente. Mientras tanto, la señal CLOCK permaneció correcta pero la señal SYNCH_IN no se monitorizaba (lectura 0 desde *DataLogger*). Midiendo con osciloscopio tampoco se mostraba la señal. Se analizaron componentes “aguas abajo” y sus rangos de temperatura:

- El LTC6900 (señal CLOCK) está diseñado para un rango de -40°C a 85°C (no testado), pero el fabricante sólo asegura su correcto funcionamiento en un rango de 0°C a 70°C (testado).
- El divisor 74 VHC393 tienen un rango de funcionamiento de -40°C a 85°C.

Se barajó posibilidad fallo de LTC6900 pero aparentemente la señal seguía mostrándose correctamente (osciloscopio), con *Duty*, frecuencia y máximos/ mínimos correctos. En este punto de la prueba se decidió seguir el ensayo y se monitorizaron el resto de señales. Más tarde se analizaría la fuente del error.

Posteriormente se averigua que el fallo estaba relacionado a la medida del registrador y la conmutación de sus relés (tarjeta multiplexora). Se parchea el mismo retirando la conexión entre TP4 y GND y se repite ensayo CSS (dicho fallo se analizará posteriormente):

Tarjeta :		Sincronización fibra óptica CSS						
Hora		11:15	11:40	12:05	12:30	13:55	14:20	14:45
Ambiente	Consigna temperatura cámara (°C)	20	10	0	-10	-20	-30	-40
	Temperatura cámara (°C)	20,57	10,87	1,85	-7,85	-15,06	-27,64	-29,54
	Temperatura PCB (°C)	18,19	11,47	0,33	-8,88	-19,8	-29,32	30,15
PCB exterior: ESCLAVO	Tensión P5 a 24V (V)	5,057	5,051	5,021	5,019	5,017	5,018	5,017
	Tensión P5 a 25V (V)	5,057	5,052	5,021	5,019	5,019	5,018	5,017
	Tensión P5 a 23V (V)	5,057	5,052	5,021	5,019	5,019	5,018	5,017
	Frecuencia CLOCK (kHz)	5,995	5,993	5,995	5,993	5,998	5,983	5,980
	Frecuencia SYNCH_IN (kHz)	2,997	2,997	2,998	2,995	2,993	2,992	2,99
	Disparo fibras	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	Retardo 1 (ns)	455	446	444	444	440	444	442
	Retardo 2 (ns)*	-	-	-	-	-	-	-
	Transmisor 1 (TP5)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	Transmisor 2 (TP6)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	Transmisor 3 (TP8)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	Transmisor 4(TP12)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	SYNCH_EXT	0	0	0	0	0	0	0
	EXT_OFF	4,96	4,96	4,96	4,97	4,97	4,97	4,97
	Corriente (mA)	22,00	21,89	21,91	21,88	21,9	21,91	22,65
	EXT_ON	0,032	0,034	0,029	0,08	0,026	0,025	0,025
	LED D6	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	TEST(OK/ NO OK)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
PCB interior: MAESTRO								

Tabla 12. Ensayo funcional CSS tarjeta fibra óptica II

*El retardo 2 no pudo ser medido en este ensayo debido al deterioro de uno de los dos cables de fibra durante ensayo HSS y la no disponibilidad de otra unidad para este ensayo.

Sincronización fibra óptica CSS											
Hora	11:15	11:40	12:05	12:30	13:55	14:20	14:45	MAX(%)	MIN(%)	Δ DESV(%)	
DESVIACIÓN(%)											
MEDIDAS	Consigna temperatura	20	10	0	-10	-20	-30	-40	-	-	-
	Temperatura PCB	18,19	11,47	0,33	-8,88	-19,8	-29,32	30,15	-	-	-
	P5 24V	1,14	1,02	0,42	0,38	0,34	0,36	0,34	1,14	0,34	0,8
	P5 a 25V	1,14	1,06	0,42	0,38	0,38	0,36	0,34	1,14	0,34	0,8
	P5 a 23V	1,14	1,04	0,42	0,38	0,38	0,36	0,34	1,14	0,34	0,8
	CLOCK	-0,083	-0,117	-0,083	-0,117	-0,033	-0,283	-0,333	-0,033	-0,333	0,300
	SYNCH_IN	-0,100	-0,100	-0,067	-0,167	-0,233	-0,267	-0,333	-0,067	-0,333	0,267
	Retardo 1 *	-54,5	-95,4	-55,6	-55,6	-56	-55,6	-55,8	-54,5	-95,4	40,9
	Retardo 2	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0
TEST(OK/ NO OK)		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

Tabla 13. Ensayo funcional CSS tarjeta fibra óptica III

*Las desviaciones para Retardo 1 y Retardo 2 han sido calculadas con la fórmula indicada en apartado 3.3.1.3.1 utilizando como valor esperado 1 us, valor máximo admitido según ABK00741FJ01.

A continuación se muestran algunas capturas de osciloscopio realizadas durante el ensayo:

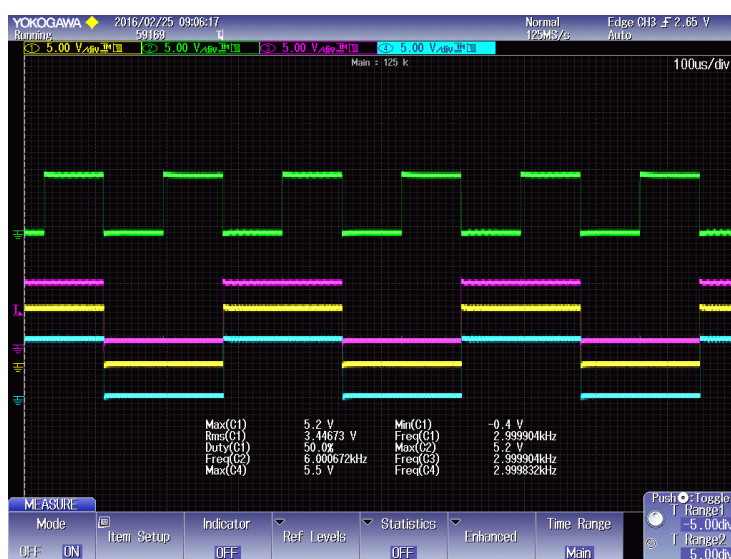


Imagen 19. Capturas sincronización.

Señal CLOCK (verde), señal SYNCH_IN maestro (rosa), SYNCH_EXT esclavo1 (amarillo) y SYNCH_EXT esclavo (azul turquesa)



Imagen 20. Zoom capturas sincronización.

Señal CLOCK (verde), señal SYNCH_IN maestro (rosa), SYNCH_EXT esclavo1 (amarillo) y SYNCH_EXT esclavo(azul turquesa)

Tras la realización de este ensayo, se procede a una última prueba funcional: comprobación de la lógica maestro – esclavo (de disponer de suficiente cable de fibra y tarjetas se puede realizar de manera simultánea al resto de ensayos funcionales, como se indica en el documento ABK0074IFK02). Inmediatamente después de la prueba y manteniendo la temperatura se abre la cámara climática y se realiza la conexión pertinente de otro cable auxiliar. Se comprueba (maestro recibe pulsos de otro maestro):

- TP5, TP6, TP8 y TP12 es nula
- SYNCH_IN sigue siendo señal 3 kHz (no varía)
- SYNCH_EXT está en HIGH
- EXT_ON está en HIGH
- EXT_OFF está en LOW

Se verifica que tras el estrés térmico aplicado la lógica interna sigue funcionando correctamente.

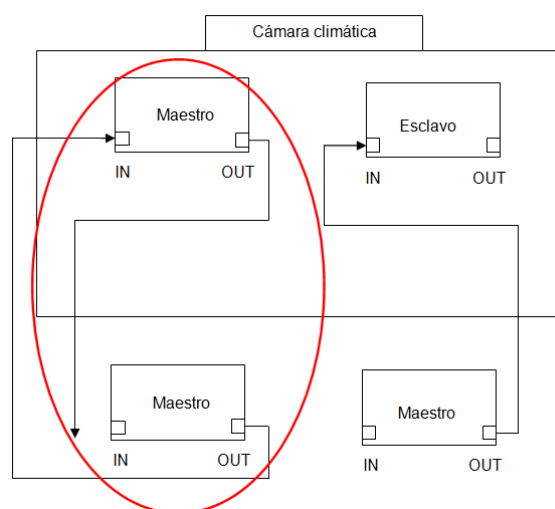


Imagen 21. Introducción señal externa desde exterior hacia DUT

3.3.1.3.2. Resultados de la monitorización continua

Tras realizar la monitorización de los diferentes parámetros de interés del circuito se muestran los resultados. En ellos se muestra el porcentaje de error máximo a lo largo de todo el ensayo.

3.3.1.3.2.1. Ensayo HSS

Se parte de 20 °C y se va incrementando la temperatura en intervalos de 10°C hasta los 130°C de consigna de la cámara climática (en realidad no llega a alcanzarlos). Además de la falta acusada a temperaturas superiores a los 110°C no se observa ningún fallo en las señales monitorizadas, no obstante se mostrarán más adelante los detalles del análisis.

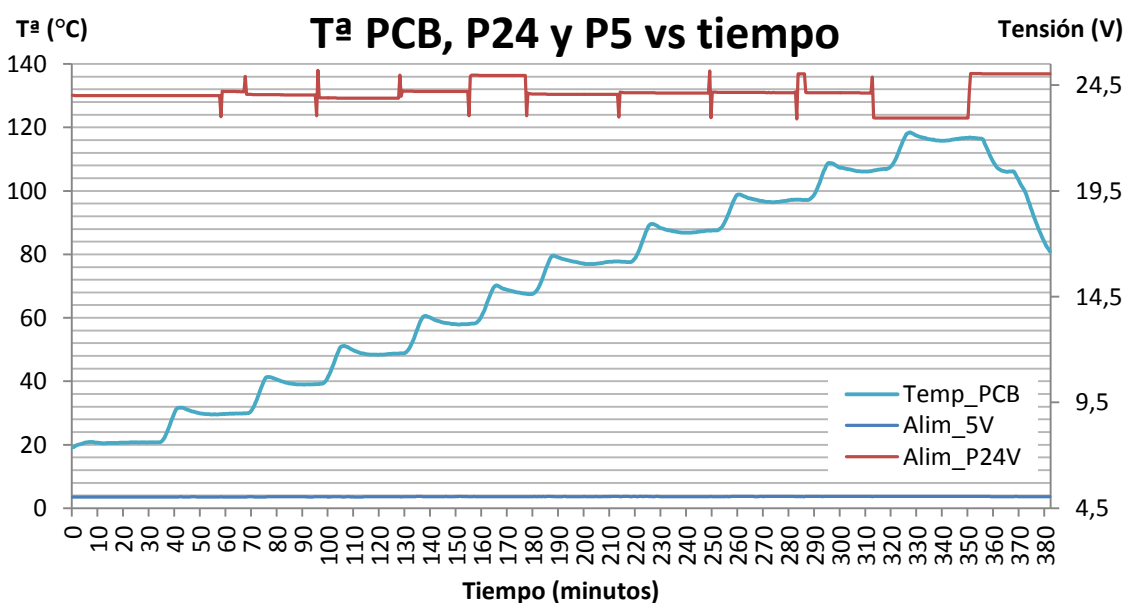
Tarjeta Sincronización Fibra óptica			
Medidas	% Error MAX	% Error	Δ % Error
Tensión de alimentación P5	1,22	0,57	0,68
Frecuencia de reloj CLOCK	0,18	-0,02	0,2
Frecuencia de reloj SYNCH_IN	0,18	-0,1	0,28
Test OK/ NO OK	OK	OK	OK

Tabla 14. Ensayo monitorización HSS tarjeta fibra óptica

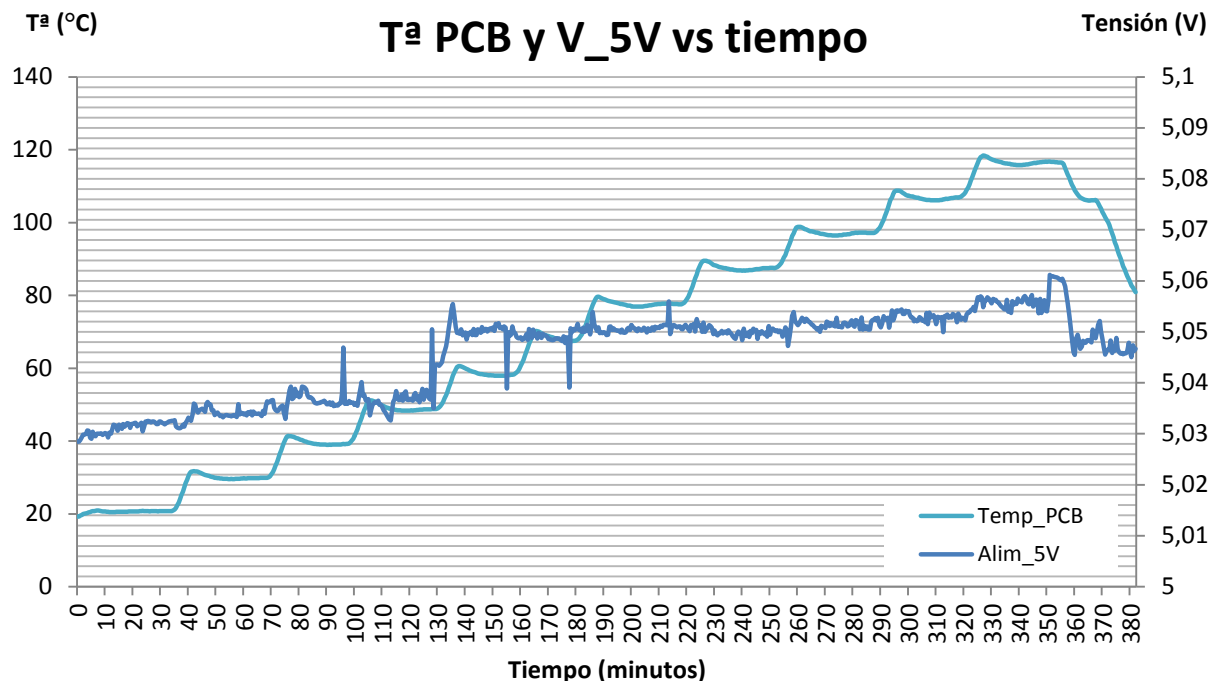
Como se puede observar estos valores se encuentran dentro de los parámetros esperables y normales para el correcto funcionamiento del circuito. Las variaciones en las medidas la señal CLOCK están por debajo del error máximo dado por el fabricante para ese rango de frecuencias (1,5%). No se ha alcanzado el punto de destrucción del equipo a excepción del cable de fibra óptica (para más detalles consultar apartado 3).

En el Anexo I, apartado 1.1 de esta memoria, se pueden observar todas las gráficas de este ensayo.

Las gráficas mostradas a continuación corresponden a la tarjeta funcionando como maestro en el interior de la cámara:



Gráfica 4. T. fibra óptica HSS: TªPCB, P24 y P5 vs tiempo



Gráfica 5. T. fibra óptica HSS: TªPCB y alim_5V vs tiempo

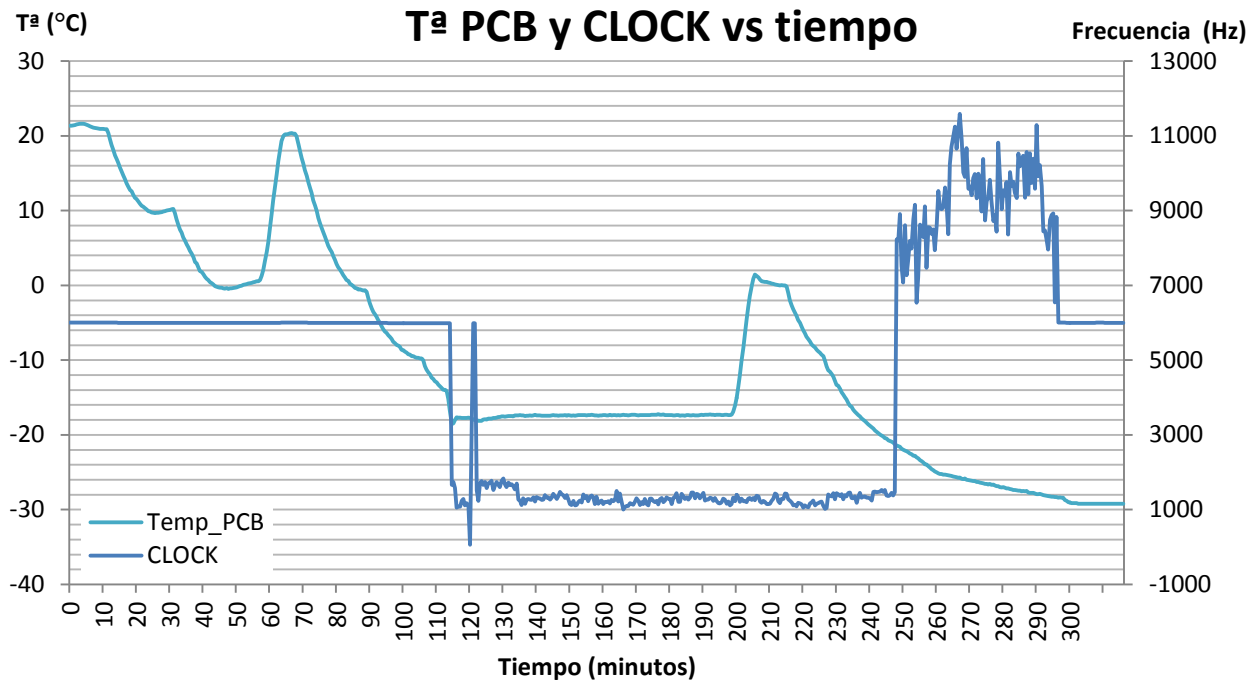
3.3.1.3.2.2. Ensayo CSS

Tarjeta Sincronización Fibra óptica			
Medidas	% Error MAX	% Error	Δ % Error
Tensión de alimentación P5	1,14	0,01	0,13
Frecuencia de reloj CLOCK	93,82	-98,94	192,07
Frecuencia de reloj SYNCH_IN	-	-	-
Test OK/ NO OK	NO OK	NO OK	NO OK

Tabla 15. Ensayo monitorización CSS tarjeta fibra óptica

El comportamiento de la fuente de 5V es similar al del ensayo HSS. La señal SYNCH_IN no se encuentra registrada correctamente ya que fue necesario retirarla la conexión al multiplexor debido a que afectaba a la medida. Posteriormente en este documento se analiza este comportamiento.

En el Anexo I, apartado 1.2 de esta memoria, se pueden observar las gráficas de este ensayo.



Gráfica 6. Gráfica 7. T. fibra óptica CSS: TªPCB y CLOCK vs tiempo

3.3.1.3.3. Análisis de resultados

Cable fibra óptica

Durante la realización de los ensayos funcionales HSS se acusó un comportamiento erróneo en el disparo de la fibra. A partir de 110°C no se recibía correctamente señal en el esclavo del exterior (medida en TP13). Se comprobó que tanto la señal de CLOCK como SYNCH_IN se encontraban dentro de los márgenes correctos y tras ello se contempló la posibilidad de fallo en el Mosfet o en el emisor de fibra, pero tras comprobar que las señales en los transmisores eran correctas (TP5), se descartó el fallo en el transistor. Al desconectar el conector de fibra de recepción en el esclavo (U5), se proyectó el haz de luz hacia una superficie y se observó que la luz era más tenue de lo normal.

En este punto se bajó la temperatura 10°C, para ver si recuperaba o el fallo era permanente, pero no ocurrió. Se disminuyó la temperatura otros 10°C y siguió sin recuperar. La falta se mantuvo incluso al disminuir la temperatura hasta 20°C.

Tras finalizar la prueba se comprobó el y se encontró considerablemente deteriorado (la parte que se encontraba en el interior de la cámara durante HSS). Se encontraba torcido y presentaba dos ángulos obtusos en dos puntos del mismo.



Imagen 22. Cable deteriorado fibra óptica I

Tras retirar el conector se observa que el pulso de luz es emitido correctamente. Se establece que la junta del cable con el conector es el punto débil; la curvatura sufrida en el cable tras el ensayo HSS parece no haber deteriorado la fibra de su interior.

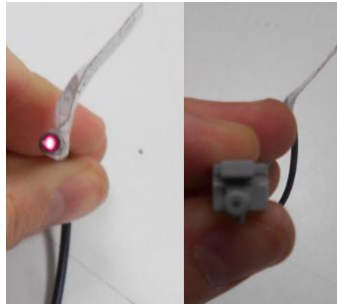


Imagen 23. Cable deteriorado fibra óptica II

Se prueba a conectar el cable sin conector al receptor del esclavo y se constata su buen funcionamiento. Se concluye que la falta se debe al deterioro del conector.

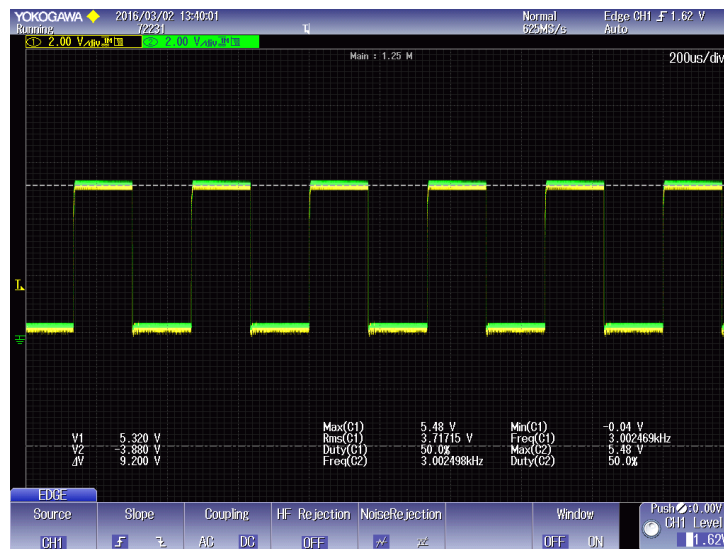


Imagen 24. Señal SYNCH_IN maestro (amarillo) y señal SYNCH_EXT esclavo (verde)



Imagen 25. Señal SYNCH_IN maestro (amarillo) y señal SYNCH_EXT esclavo (verde)

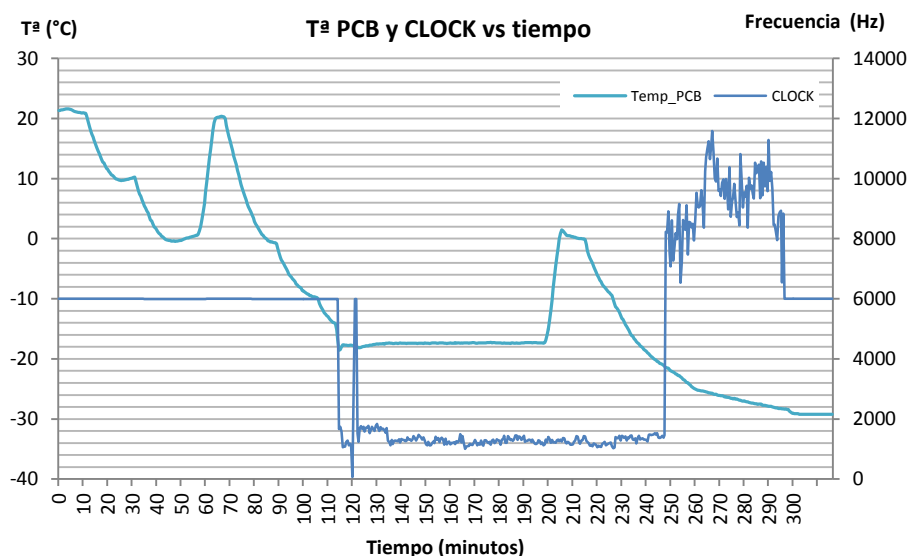
Análisis cable y sellante:

- Sellante Dow-Coring 3145: temperatura de trabajo -45°C a 200°C .
- Cable simplex HFBR 4503 de Avago: temperatura de trabajo de -40°C a 85°C .

Es de esperar un fallo en el cable al exceder su máximo de temperatura de trabajo en 25°C ; se comprueba que se tiene cierto margen de seguridad para este componente. En ningún momento se degrada por debajo de la temperatura del equipo; los márgenes operativos exceden las expectativas de diseño

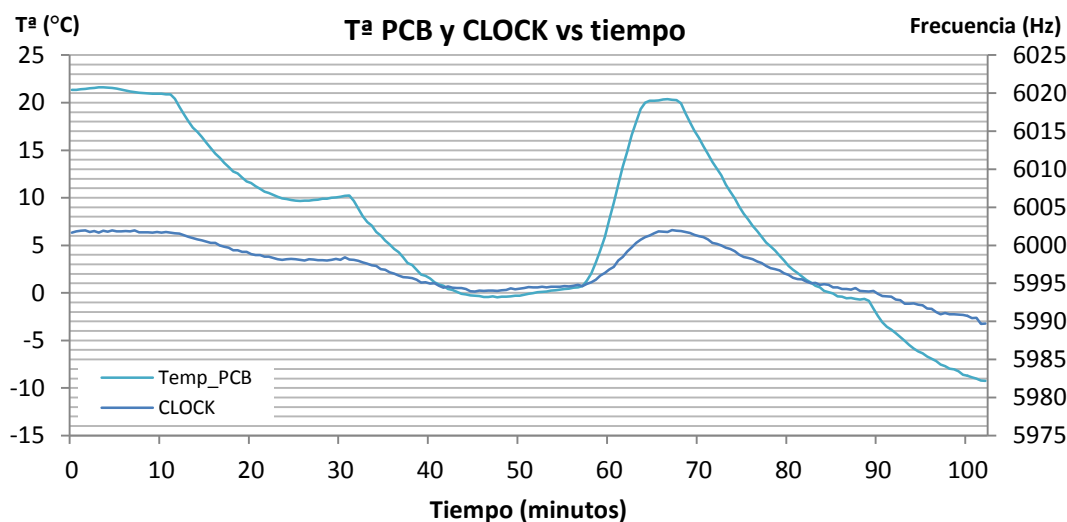
Frecuencia CLOCK

Tras analizar los resultados de la prueba CSS se aprecian unas variaciones muy grandes en la frecuencia de reloj CLOCK.



Se observa que a partir de los 110 minutos de ensayo, se acusa un comportamiento anómalo en la señal CLOCK. Esto no es debido a los cambios de temperatura, sino a la desconexión de la monitorización. Como se ha explicado en el apartado 2.1.1.2 se ha retirado la conexión para la monitorización de la señal CLOCK debido a los problemas que presentaba en la medida. Nótese que al final del ensayo se volvió a conectar para comprobar el buen funcionamiento del circuito a temperaturas de unos -30° .

No obstante se realiza un análisis en detalle de los datos obtenidos hasta la desconexión:



Gráfica 8. T. fibra óptica CSS: TªPCB y CLOCK vs tiempo zoom

La frecuencia presenta un comportamiento proporcional a la temperatura, como se observa en la gráfica anterior. Sin embargo la constante de tiempo de tiempo del sistema es mayor y por ello las variaciones más amortiguadas, lo cual ofrece mejor rechazo a variaciones instantáneas de temperatura.

A pesar de ello la frecuencia presenta una variación máxima se mantiene dentro de un margen del $\pm 0,20\%$ respecto a la señal de 6 kHz. Estudiando todos los valores registrados en este intervalo:

- % Error MAX: 0,03
- % Error MIN: -0,20
- Δ % Error: 0,23

Este error es 7,5 veces menor que el máximo dado por el fabricante para esta frecuencia; 1,5%.

Además esta variación se encuentra dentro de los márgenes de la característica frecuencia frente a temperatura dados por el fabricante del oscilador LTC6900:

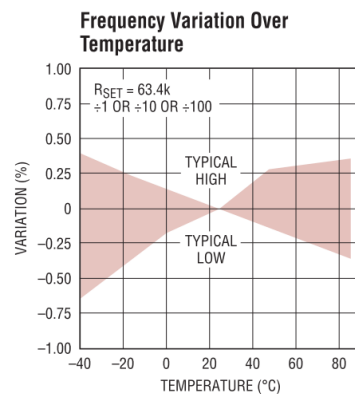


Imagen 26. Característica variación de frecuencia vs temperatura de LTC6900 [14]

Hasta aquí se ha analizado el comportamiento del sistema en el intervalo que no se produce falta; a partir de esta sección se analiza el sistema a partir de la falta y se investiga su naturaleza.

Como se menciona en el apartado 2.1.1.2., durante el ensayo CSS se parcheo dicho fallo retirando la señal de CLOCK de la monitorización, y de esta manera SYNCH se medía correctamente. También se comprueba que al descender más la temperatura el fallo se mantiene.

Tras finalizar los ensayos se plantea investigar la naturaleza del error que ha conducido a la medida errónea de las señales de disparo durante CSS. El problema que se encontró fue que a partir de los 4°C las formas de onda visualizadas en el osciloscopio no se mostraban correctamente y el registrador comenzaba a medir mal frecuencia SYNCH_IN (medida de 0):

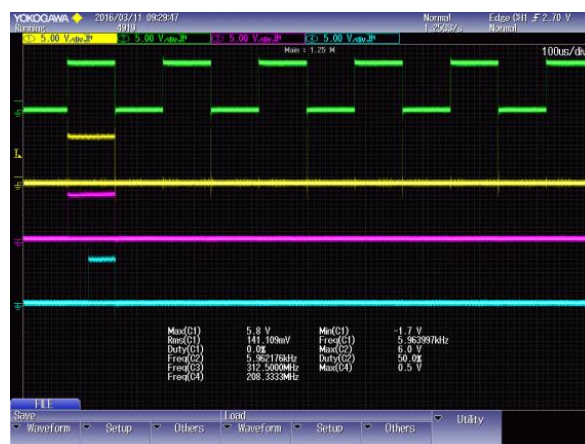


Imagen 27. Capturas fallo
Figura 12. Señales CLOCK (verde) y SYNCH_IN (amarillo) de maestro en cámara, SYNCH_EXT de esclavo 1 (rosa) y SYNCH_EXT de esclavo 2 (turquesa)

Como se aprecia en la imagen se visualiza correctamente la forma de onda CLOCK (cuadrada 6kHz), al contrario que demás formas de onda (SYNCH_IN de maestro y SYNCH_EXT de ambos esclavos). Consultando el manual del fabricante de tanto el registrador como de la tarjeta multiplexora se prueba a separar las señales; las señales que presenten un ratio 20 a 1 o superior deben ser separadas físicamente lo máximo posible y todos los canales no utilizados deben ser llevados a tierra o a nivel bajo. Además se recomienda cablear las formas de onda de similar naturaleza en canales adyacentes. Se aplican estas modificaciones pero el fallo se mantiene.

Se prueba desde registrador a monitorizar sólo un canal:

- Cerrando canal de SYNCH_IN (4) mide mal, no da valor fijo sino que oscila constantemente.
- Cerrando canal de CLOCK (5) mide bien

El siguiente paso fue cambiar a otros canales en caso de que los canales utilizados hasta ahora en el registrador estén estropeados. Tras ello la falta se mantiene y por tanto se descarta caso de canales defectuosos.

En este punto se decide retirar el resto de señales monitorizadas para evitar el posible efecto de alguna de ellas en la medida de CLOCK o SYNCH_IN, las cuales son señales de alta frecuencia. Utilizando sólo dos canales en la prueba, se repite ensayo y se observa que la falta se mantiene. En todas las pruebas se observa que al subir la temperatura desde los 4-5º (momento en el que aparece el fallo) hasta los 10º-12º la falta se recupera. En todos los casos las medidas desde el osciloscopio de la señal recibida desde los esclavos en el exterior de la cámara (SYNCH_EXT) acusan el mismo comportamiento que SYNCH_EXT del maestro, como se observa en figura 12.

La siguiente acción es revisar el cableado. Hasta ahora en el ensayo las señales a medir se cablean directamente desde la tarjeta hacia un bornero en el exterior, y de él se llevan dichas señales hacia multiplexor o se miden directamente desde osciloscopio. Se utiliza par trenzado para eliminar posibles efectos de ruido y *crosstalk* que conduzcan a lecturas erróneas. Para mejorar la medida y evitar posibles interferencias se lleva directamente pares trenzados desde la tarjeta hasta el multiplexor; y lo mismo se hace para la medida del osciloscopio. Otra mejora es que las referencias (GND) se cablean lo más cerca posible a la cada medida, de modo que la señal tenga el menor recorrido posible, reduciendo así el efecto del acoplamiento capacitivo. Esta medida no solucionó la falta pero sí que mejoró la calidad de las formas de onda visualizadas en el osciloscopio.

Se aísla la tierra de tanto osciloscopio como registrador; la falta se mantiene.

Otra prueba realizada es la retirada de los conectores de termopar (tipo T) utilizados para conectar las señales provenientes de la tarjeta ensayada al multiplexor cuyos contactos son de Cobre - Constantán a fin de comprobar que esa unión termopar no esté creando algún voltaje que distorsione las señales medidas. Se sustituye por un bornero convencional. No se corrige la falta

Se eliminan conectores hembra utilizados para conectar desde multiplexor a los testpoints del circuito y se suelda directamente el cable desde tarjeta multiplexora en PCB. Con ello se quiere comprobar que una unión termopar entre estos conectores pueda afectar a las señales de alta frecuencia que se desean medir. Tras ello se comprueba que falta desaparece y se procede a realizar un ensayo completo barriendo todo el rango de temperatura. Se vuelven a incluir conectores tipo termopar y se comprueba que la falta no vuelve a aparecer.

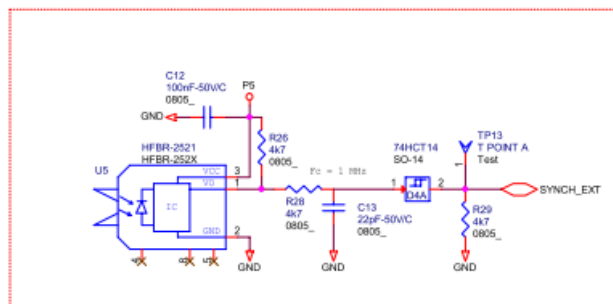
Llegado a este punto y localizado el foco del fallo se baraja la posibilidad de que la falta se hubiese producido debido a las dilataciones/contracciones de los componentes utilizados; al variar la temperatura puede que el contacto entre testpoint y conector se deteriorase de modo que la lectura no es correcta. Se comprobará este hecho en ensayos posteriores; se corrige soldando cables conexión a registrador en PCB.

Con esta medida aplicada se repitió el ensayo CSS para comprobar que la medida CLOCK se visualizaba correctamente. Se verificó que la medida de la frecuencia se mantiene en todo momento por debajo del 1% de error, así como la frecuencia de SYNCH_IN.

3.3.1.3.4. Modificación recepción/lógica fibra óptica

Durante el ensayo HSS se ha observado la tendencia ascendente del tiempo de retardo entre la recepción de la señal de fibra por parte de un esclavo y la emisión con la temperatura, teniendo incrementos de hasta el 9%. Esta variación no provoca tener unos retardos que puedan poner en peligro la funcionalidad del equipo, sin embargo tras un análisis del circuito se comprobó que se podía disminuir este retardo así como la cantidad de componentes.

RECEPTOR DE FIBRA (RX)



GESTIÓN MAESTRO-ESCLAVO

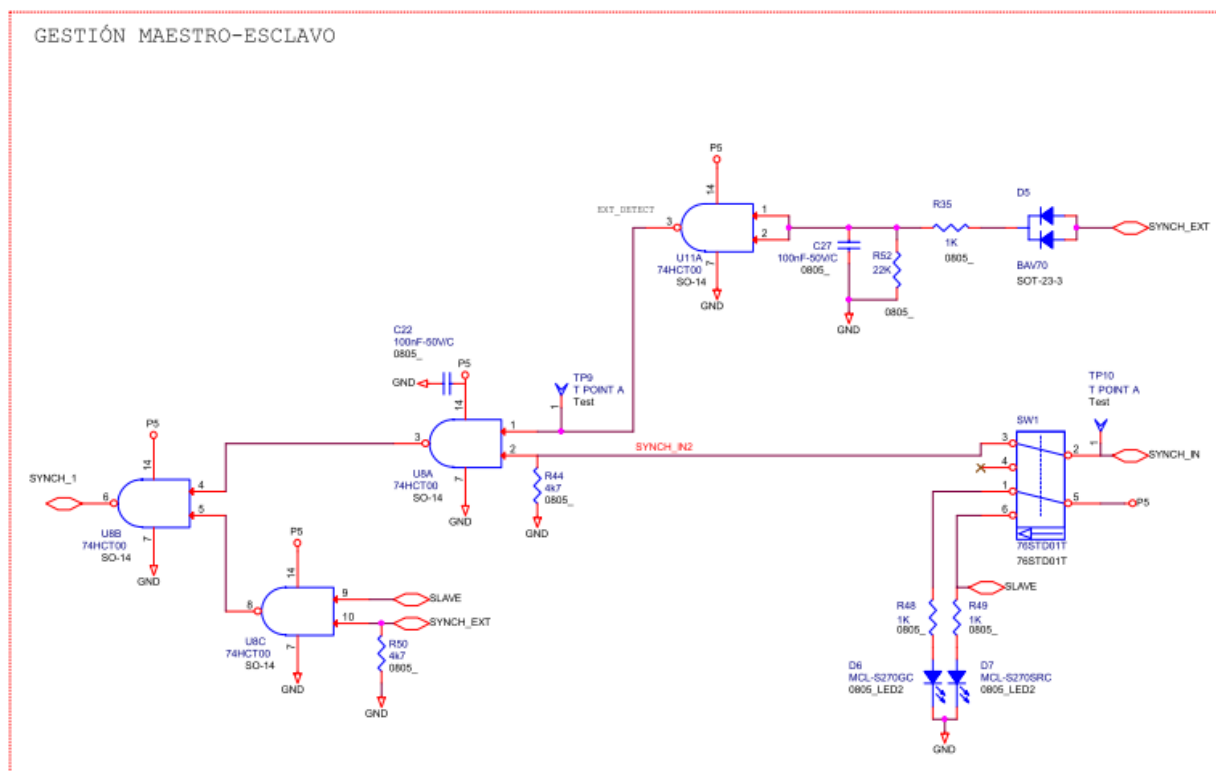


Imagen 28. Modificación circuito fibra óptica

Mediante esta modificación se mantiene la funcionalidad anterior: el esclavo replica la señal que recibe del maestro y en caso de no recibir nada no debe emitir (como se detalla en apartado 4.2.1.1). Básicamente se implementa una lógica con puertas NAND y se elimina la utilización de tres *inverting Schmitt trigger*. Una de las puertas NAND se utiliza como una NOT introduciendo en ambas entradas la misma señal. Retirando estos componentes se podría eliminar el retardo que introducen estos elementos, que consultando la hoja de características se establece en como máximo 114 ns para una temperatura desde -40°C hasta 125°C, la cual no es despreciable para esta aplicación. Al disminuir el retardo se tiene una mejor sincronización entre equipos, disminuyendo las tensiones de modo común que aparecen debido a las conmutaciones. De esta

manera se aumentaría la fiabilidad del producto y se reducirían el número de componentes necesarios, simplificando el *layout* de la tarjeta.

Como línea futura se propone dar el siguiente paso para implementar esta mejora sería la del montaje de un prototipo con esta modificación y valoración de la mejora.

Se puede comparar con el circuito original consultando el Anexo II.

3.3.1.4. Conclusiones

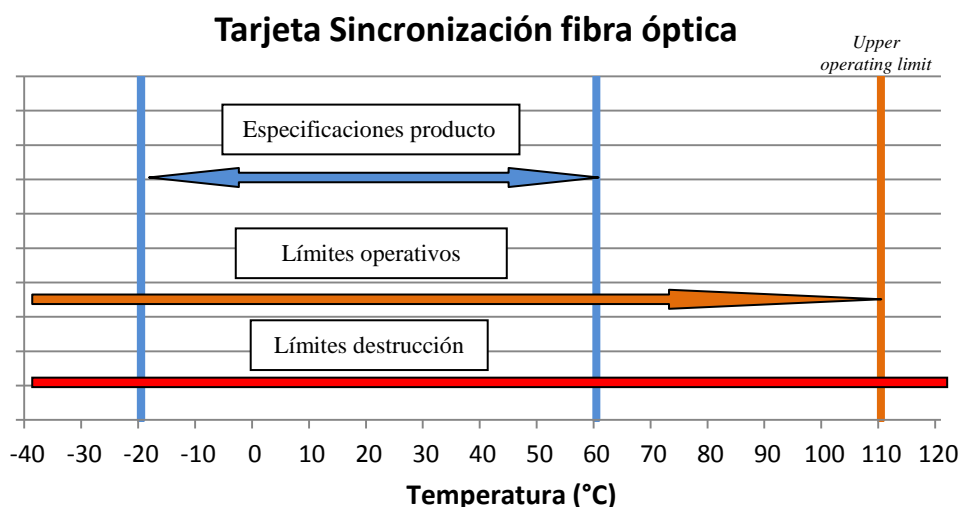
Durante el ensayo HALT a la tarjeta de sincronización de fibra óptica se ha comprobado el correcto funcionamiento de los parámetros eléctricos, retardos en la comunicación por fibra óptica así como de la lógica de la tarjeta en sus diferentes combinaciones.

Durante la realización de los ensayos funcionales HSS se acusó un comportamiento erróneo en el disparo de la fibra al llegar a los 110°C. Se investigó el hecho y se comprobó que el fallo procedía del cable de fibra óptica y que el resto de partes del circuito operan correctamente. No se ha apreciado deterioro mecánico, en máscara de soldadura o barniz.

Durante el ensayo CSS se tuvo un problema con la medida que tras localizar su origen, se pudo corregir y realizar de nuevo para obtener las medidas que en un primer momento no fue posible tomar; se comprobó que el funcionamiento de la tarjeta a bajas temperaturas es correcto.

Se han visualizado mediante osciloscopio las formas de onda de los pulsos de sincronización y se ha comprobado que los retardos son menores que 1 μ s, el máximo admitido a lo largo de todos los ensayos. Sin embargo se ha planteado una modificación en el circuito de recepción de fibra y lógica maestro/esclavo que permitiría la disminución del retardo introducido por la electrónica (mejorando la sincronización entre inversores y reduciendo las tensiones de modo común), así como la disminución del número de componentes y consecuente simplificación del *layout*.

Tras estos ensayos se verifica que el elemento débil en esta tarjeta es el cable de fibra óptica y que no se ha causado permanente en ninguno de los elementos de la electrónica de la tarjeta, encontrándose así el *upper operative limit*. En cuanto a la integridad de la propia tarjeta tampoco se ha observado ningún deterioro en las soldaduras, máscara de soldadura, barniz etc. La falta en el cable de fibra se dio a las 110°C, temperatura considerablemente superior al máximo para el cual el equipo está diseñado. Los resultados de la prueba no detectan por tanto ninguna carencia en el diseño de la tarjeta y comprueba que el diseño es robusto, fiable y se ajusta al rango de funcionamiento nominal, teniendo un amplio margen en el mismo.



Gráfica 9. Resultados ensayos HALT tarjeta fibra óptica

3.3.2. Tarjeta de monitorización ventiladores y supervisión de servicios auxiliares

3.3.2.1. Descripción en detalle

La funcionalidad principal de esta tarjeta es la de poder monitorizar continuamente el estado de los ventiladores del equipo Monoblock. Adicionalmente, en caso de fallo es capaz de detectar qué ventilador es el que ha dejado de funcionar. Otra función de la tarjeta es la de la distribución a los ventiladores del equipo la señal PWM generada por la tarjeta de control. Además de esto la tarjeta incorpora otra funcionalidad; la supervisión de la alimentación de los equipos auxiliares, asegurando que se encuentre dentro de los límites.

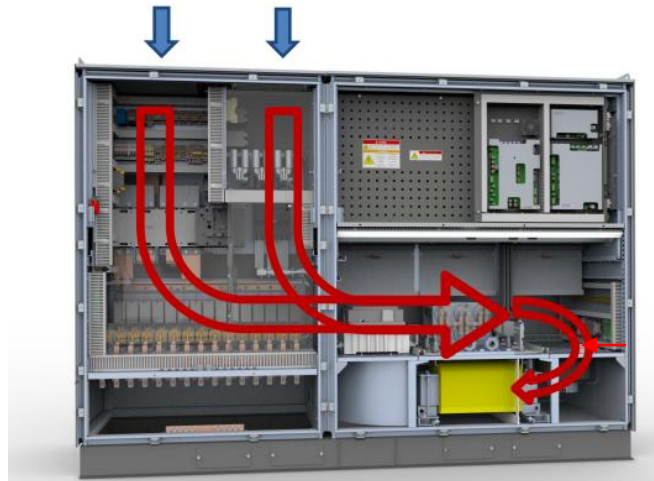


Imagen 29. Flujo de aire ventiladores y situación tarjeta de monitorización de ventiladores (flecha roja) [7]

Mediante un contactor libre de potencial se indica si algún ventilador no funciona correctamente y mediante una entrada digital se puede saber cuál de ellos es el que ha fallado. Esto último se implementa mediante un multiplexor, al cual se le introducen las señales individuales de supervisión de cada uno de los ventiladores. Además es necesario incluir una señal de sincronización antes de enviar las señales de estado para indicar al inversor que se debe comenzar a tomar muestras del estado de los ventiladores.

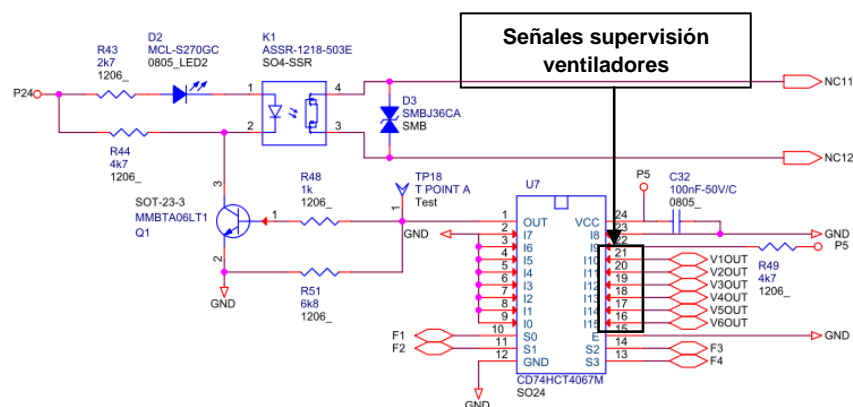


Imagen 30. Circuito fallo ventiladores [10]

Si los ventiladores 2 y 5 fallan y el resto funciona correctamente se debe observar la siguiente señal:

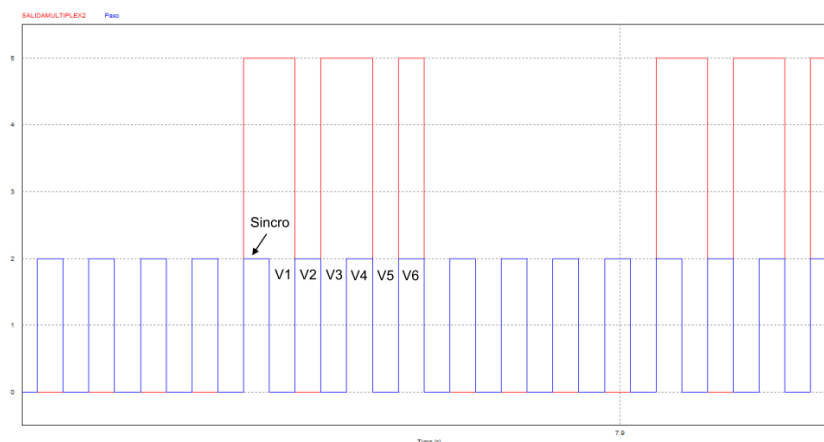


Imagen 31. Señales detección fallo ventiladores I

Un requisito de esta tarjeta es la capacidad de que, independientemente del nivel señal PWM generada para controlar la velocidad general, el ventilador inferior que refrigera la bobina funcione al 100%. Se implementa mediante este circuito:

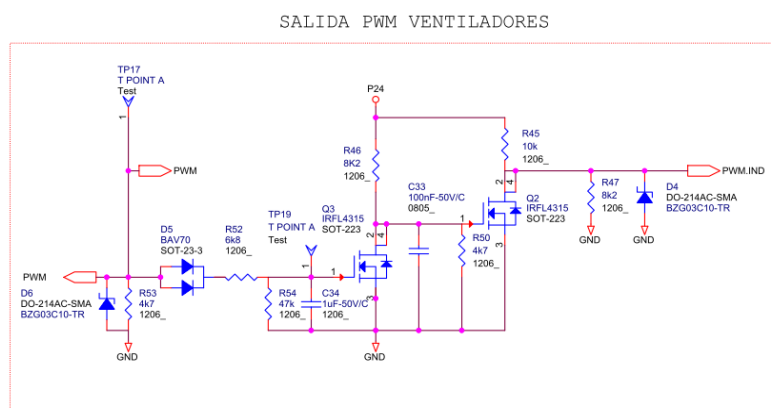


Imagen 32. Circuito ventilador bobina [10]

La circuitería se alimenta desde los 24 V de la tarjeta de fuentes e internamente utiliza tensiones de 5 V y 15V, generados por un regulador lineal y un convertidor DC/DC con aislamiento respectivamente.

Fallo en ventiladores

A partir de los 24 V se generan dos niveles de tensión de referencia utilizados para compararlos con la señal de salida del ventilador. Dichos límites se establecen en 4.3 y 18 V. Se debe tener en cuenta que los ventiladores en el mercado tienen dos formas diferentes de indicar su estado:

- Tensión: tensión de salida entre 0 y 10 V donde 1 V corresponde al 10% de velocidad de giro y 10 V al 100%.
- Tacométrica: señal tacométrica con colector abierto de entre 1 y 3 pulsos por revolución.

La tarjeta está diseñada para poder funcionar con ambas salidas por lo que se implementa un SWITCH para seleccionar el modo de funcionamiento. Es necesario filtrar las señales tacométricas y por ello se implementa un filtro de a 4,5 Hz con un pull-up para la salida de colector abierto.

Supervisión auxiliares

Es necesario asegurar que la tensión en los servicios auxiliares se encuentre entre +25% y -20% de los valores nominales. Mediante unos contactos soldables es posible configurar el dispositivo para que se ajuste a normativa IEC o UL. Los comparadores que se implementan tienen una ventana de histéresis. El estado de la tensión se indica mediante un contacto libre de potencial.

3.3.2.2. Planteamiento

En el presente documento se detalla el ensayo HALT realizado sobre la tarjeta de monitorización de los ventiladores del modelo Monoblock. Durante el mismo se medirán tensiones de alimentación, frecuencias, señales de error y se comprobará la lógica implementada en las tarjetas.

Cabe destacar que el objetivo de los ensayos es conocer la situación de los límites de operación y destrucción del equipo como fuente de mejora en el diseño. Es por ello por lo que no se establecen las condiciones más desfavorables para ella. El objetivo real es testear la electrónica asociada a la misma y comprobar sus límites; es por ello por lo que se monitorizan todos sus valores. Así pues, no es un test para comprobar su funcionamiento, sino para tener información sobre el nivel de las señales que maneja la tarjeta al verse sometida a estrés térmico.

En el presente documento se muestran las plantillas para plasmar los resultados obtenidos en dos de las cinco etapas de las que está formado un ensayo completo HALT. Las dos pruebas serán realizadas en el laboratorio de *Ingeteam Energy* en Sarriguren.

Cabe destacar que el ensayo se realizará, a ser posible con dos tarjetas en el interior de la cámara, monitorizadas de forma simultánea, una funcionando con referencia tacométrica (SW1 en posición TACH), alimentadas con una señal cuadrada y la otra con referencia de tensión (SW1 en posición TENS). En caso contrario (debido a falta de disponibilidad del material), se utilizará una sola tarjeta y se configurarán 3 de sus 6 entradas de señal de ventilador para funcionamiento con referencia tacométrica y el resto con referencia de tensión.

El presente ensayo consiste de dos partes diferenciadas; ensayo funcional y ensayo de monitorización continua. En los apartados siguientes se detalla cada uno de ellos, así como la metodología utilizada.

Para la realización del ensayo será necesario el siguiente equipamiento:

- Osciloscopio
- 2 Sondas aisladas
- 2 Polímetros
- Registrador de datos y multiplexador de canales
- 2 Sondas de temperatura (termopares tipo T)
- Fuente de alimentación 24 V (DC)
- Fuente de alimentación 10 V (DC)
- Fuente de alimentación 230 \pm 46 V (AC)
- Generador de funciones
- Generador de referencia tacométrica
- Circuito para simulación salida de ventilador
- Bornero de conexiones

A continuación se muestra la configuración del banco de ensayos:



Imagen 33. Bancada de ensayos para tarjeta monitorización de ventiladores

Para la realización de esta prueba es necesario el montaje de circuitería externa para cumplir las siguientes funciones:

- Generación de 10 V regulados
- Generador de referencia tacométrica
- Circuito para simulación salida de ventilador

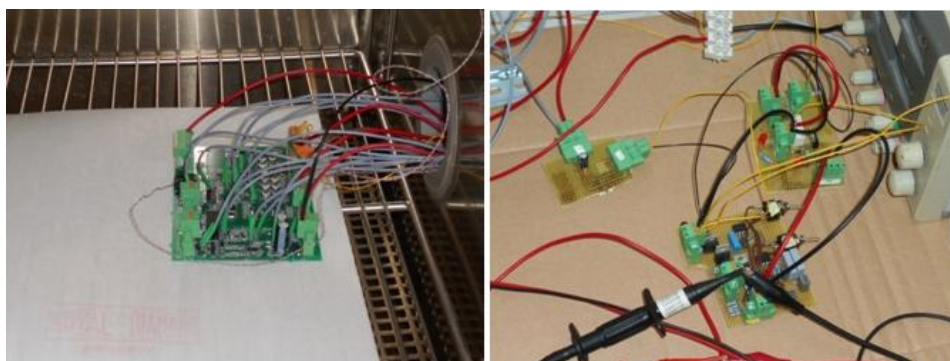


Imagen 34. Fotografías ensayos tarjeta ventiladores.

(Imagen derecha) Tarjeta monitorización ventiladores. (Imagen izquierda) Circuitos de prueba (de izda a dcha): generación 10V regulados, generación tacométrica, simulación salida ventilador

3.3.2.2.1. Ensayo de monitorización continua

Mediante este test, se obtiene información acerca de los valores que toman las distintas variables adquiridas por el registrador de datos a lo largo del tiempo según se varía la temperatura. Este se lleva a cabo de forma simultánea a las pruebas CSS y HSS.

El registrador de datos Agilent 34972A es utilizado para obtener una monitorización continua de los datos de medida internos a la tarjeta bajo test. Para ello es necesario utilizar el multiplexador de canales 34901A y un PC para la monitorización de los mismos. Además de los datos de tensiones DC y AC medidos en los puntos de test seleccionados, se mide tanto la temperatura de la cámara como la del circuito impreso mediante dos termopares tipo T.

Para comprobar el funcionamiento con tanto referencia tacométrica como de tensión, será suficiente si se configuran 3 de sus 6 entradas de señal de ventilador para funcionamiento con referencia tacométrica y el resto con referencia de tensión.

Se tomarán medidas cada 20 segundos mediante un osciloscopio y los datos serán analizados in-situ pero serán tratados y analizados posteriormente. Los parámetros a analizar se describen a continuación.

- Tensión de alimentación P5: Se estudiará la variación de la tensión generada por el regulador lineal L7805 con las variaciones de temperatura. Se medirá en TP5 con referencia GND.
- Tensión de alimentación P15: Se pretende comprobar el funcionamiento de la fuente aislada R24P15S/P y su comportamiento frente a variaciones de temperatura. Se medirá entre P15 GNDA
- Tensión de alimentación P24: se colocará la tarjeta encargada de la alimentación de 24 V correspondiente a esta tarjeta. Se medirá su valor tras cada salto de temperatura desde la patilla 1 del regulador lineal L7805, variando dicha tensión entre 20 y 28 durante este ensayo para comprobar la regulación de línea en las otras fuentes.
- Frecuencia de reloj CLOCK: se medirá dicha frecuencia de oscilación a la salida del oscilador LTC6900. La medida se realizará en TP10 (referencia GND).
- Tensiones de referencia VL y VH: como se ha indicado anteriormente, se utilizarán una tarjetas para la realización de estas pruebas (tres con referencia tacométrica y otras tres con referencia de tensión) o una tarjeta que utilice ambas referencias; además se configurarán los pines soldables para que funcione una según niveles IEC y la otra según UL. Por ello se medirá en cada una de ellas los niveles de VL y VH al

ir variando la temperatura, de modo que se compruebe el correcto funcionamiento de la fuente de tensión programable TL431. Los puntos de medida serán realizadas en TP27 y TP28 para VL y VH respectivamente (ambas referenciadas a GNDA).

- Frecuencia señal tacométrica: se medirá la frecuencia de la señal tacométrica para comprobar el correcto funcionamiento del diodo Zener de protección a la entrada de los ventiladores. Así mismo se comprobará que a la salida de los ventiladores de la bobina se tiene para PWM mayores o iguales al 20% un valor de 10 V para que funcione a su velocidad máxima. Se generará un PWM de 1.5 kHz de *Duty* 25% y se tomarán las medidas en TP17 (PWM ventilador) y para el ventilador de la bobina se medirá en PWM_IND.
- Equilibrado del bus: se pretende comprobar que el punto medio del bus (TP24) se encuentra equilibrado, es decir, que la tensión entre el + y el punto medio y entre el punto medio y GNDA son similares. Se admitirá como máximo una diferencia de 10 V. Será necesario alimentar el circuito de monitorización de equipos auxiliares a través del puente de diodos D9. Se conectará una tensión de 230 V eficaces de corriente alterna. Se medirá entre TP20 y TP24 (equilibrado bus1) y entre TP24 y GNDA (equilibrado bus 2).
- Referencias HL y LL: se desea comprobar las tensiones de referencia utilizadas en los comparadores de supervisión del estado de los ventiladores. Se medirá entre TP8 (HL) y GND y TP9 (LL) y GND.

3.3.2.2. Ensayo funcional

Este tipo de ensayo consiste en la comprobación del correcto funcionamiento durante el ensayo HALT de dispositivos semiconductores, entradas y salidas digitales, activaciones de relés, captaciones etc. Las comprobaciones se realizarán después de cada salto de temperatura y una vez esta es estable.

El procedimiento consiste en que, una vez realizado cada salto de temperatura y estabilizada la lectura, se realicen las comprobaciones y medidas pertinentes. Para el caso de esta tarjeta se comprueban el correcto funcionamiento del disparo de señales de error entre otros.

A continuación se detallan cada una de ellas:

- Duty señal tacométrica y señal ventilador bobina: se medirá el *Duty* de la señal tacométrica para comprobar el correcto funcionamiento del diodo Zener de protección a la entrada de los ventiladores. Así mismo se comprobará que a la salida de los ventiladores de la bobina se tiene para PWM mayores o iguales al 20% un valor de 10 V para que funcione a su velocidad máxima. Una vez alcanzado el equilibrio en cada escalón de temperatura se procederá a variar el *Duty* de la señal cuadrada mediante el generador de funciones desde 0% hasta 100% en intervalos del 25%, es decir, 0-25-50-100. Se comprobará que a la salida PWM.IND se tiene:

DUTY	V SALIDA (PWM IND)
0%	0 V
25%	10 V
50%	10 V
100%	10 V

Tabla 16. Prueba ventilador bobina

Se tomarán las medidas en los terminales del conector J4.

- Variación tensión de alimentación P24: se varía la alimentación de ambas tarjetas entre 20 V y 28 V y se toman las lecturas de tensión correspondientes de las fuentes de 5 V y 15 V mediante un polímetro, anotándose los valores correspondientes. Se medirá en TP5 la tensión de 5V y en el punto que se detalla a continuación la tensión de 15V, sirviéndose del bornero mostrado en el apartado 3.3 para sacar los puntos de medida fuera de la cámara climática.
- Comprobación fallo ventiladores: se va a comprobar si la salida de OK/ FALLO sigue funcionando correctamente tras aplicar estrés térmico para ambas tarjetas. Por ejemplo se conectan los ventiladores

1,2,3 con referencia tacométrica y los ventiladores 4,5 y 6 con referencia de tensión. Se procederá a visualizar la señal de error en TP18 y tras ello se desconectarán alguno de los ventiladores para observar si la tarjeta envía correctamente la señal de error (visualizada mediante un osciloscopio)

- Se deberá observar la señal de sincronización y los pulsos de OK/ FALLO correspondientes. Deberá obtenerse algo similar a la imagen siguiente (obtenida mediante simulación):

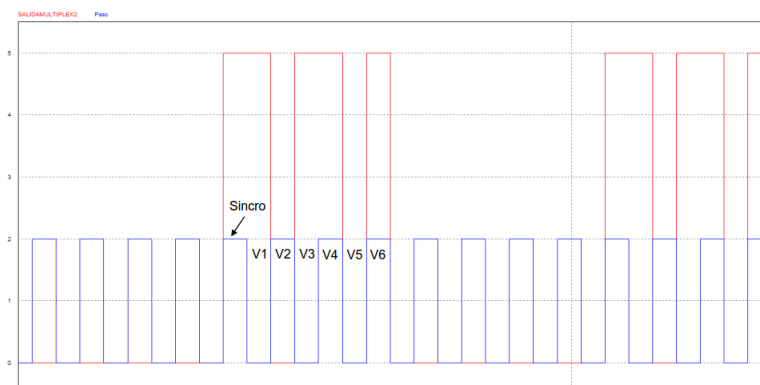


Imagen 35. Señal detección fallo ventiladores II

Adicionalmente se medirá en NC11 Y NC12 (contactos libres de potencial accesibles desde el bornero) mediante un polímetro en modo “continuidad” para comprobar si se obtiene el cierre del mismo cuando se produce error.

- Filtrado tacométricas: se comprobará el correcto filtrado en la tarjeta funcionando como referencia tacométrica. Se pretende asegurar que las señales se encuentran dentro de los límites fijados (4.3 V y 18 V). Se medirá en TP6.
- Offset comparadores: el circuito encargado de la supervisión de estado de los ventiladores utiliza comparadores de modo que la señal a la salida tiene un offset. Se desea comprobar dicho nivel de offset de los conforme se va variando la temperatura. Para ello se medirá en TP13.
- Disparo subtensión y sobretensión equipos auxiliares: cada una de las tarjetas sujetas a este test serán configuradas con niveles de subtensión y sobretensión diferentes en función de los estándares IEC o UL (soldables PS2 y PS3). Una vez estabilizada la temperatura se procederá a elevar los niveles de tensión ligeramente por encima del nivel de sobretensión y ligeramente por debajo de los de subtensión y comprobar que el disparo de fallo funciona correctamente. Se medirá en TP22 de modo que cuando se detecte fallo por sobretensión o subtensión se conectará este punto a tierra a través de los transistores MOSFET Q4 y Q5 respectivamente.
- Adicionalmente se medirá en NC21 Y NC22 (contactos libres de potencial accesibles desde el bornero) mediante un polímetro en modo “continuidad” para comprobar si se obtiene el cierre del mismo cuando se produce error.

3.3.2.3. Resultados

Para realizar los tests se han utilizado las tarjetas de prueba que se muestran a continuación:

- Generación tensión regulada de 10V
- Generación ondas cuadradas de diferente *Duty* con frecuencia variable
- Generación tacométrica ventilador

Durante el ensayo se pretende conocer la situación de los límites de operación y destrucción del diseño de las tarjetas. A continuación se muestran los resultados obtenidos en tres de las cinco fases que componen un ensayo completa HALT. Las pruebas han sido realizadas en el laboratorio de Ingeteam Energy en Sarriguren.

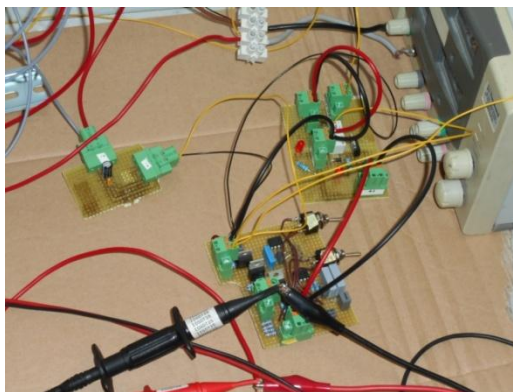


Imagen 36. Circuitos de test tarjeta monitorización ventiladores

3.3.2.3.1. Resultados del test funcional

En el presente apartado se presentan los resultados correspondientes a los test funcionales, correspondientes a los ensayos HSS y CSS, realizados después de cada escalón de temperatura y tras la estabilización de la misma.

Una vez realizados los ensayos se realizará el cálculo de las desviaciones en cada punto del test funcional. Como el objetivo es comprobar la desviación debido exclusivamente al incremento de temperatura, se realiza la diferencia entre el máximo y mínimo obtenidos.

El porcentaje de variación ha sido calculado como:

$$\text{Desviación}(\%) = \frac{\text{Medida realizada} - \text{Valor esperado}}{\text{Valor esperado}} * 100$$

Y la variación de la misma:

$$\Delta \text{Desviación}(\%) = \text{Max}(\%) - \text{Min}(\%)$$

Siendo Max(%) y Min(%) los porcentajes de las variaciones máximas y mínimas respectivamente.

3.3.2.3.1.1. Ensayo HSS

Monitorización ventiladores HSS												
Hora		12:03	12:33	13:03	13:33	14:03	14:33	15:03	15:33	16:03	16:33	17:03
Ambiente	Consigna temperatura cámara (°C)	20	30	40	50	60	70	80	90	110	120	130
	Termopar ambiente(°C)	19.80	30.08	39.71	50.11	59.41	68.48	79.09	90.01	106.64	116.54	126.382
	Termopar PCB (°C)	18.30	26.81	34.15	43.59	58.97	58.93	75.42	84	93.06	102.12	115.650
Medidas	Tensión ventilador bobina D=0 (V)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Tensión ventilador bobina D=25 (V)	9.881	9.877	9.956	10.033	9.957	9.815	9.964	9.852	9.857	9.857	9.855
	Tensión ventilador bobina D=50 (V)	9.879	9.872	9.962	9.997	9.944	9.979	9.956	9.831	9.852	9.848	9.798
	Tensión ventilador bobina D=100 (V)	9.875	9.870	9.961	9.995	9.940	9.975	9.952	9.828	9.851	9.841	9.796
	24V fuente 5V (V)	5.018	5.031	5.041	4.988	5.054	5.061	5.075	5.072	5.054	5.076	5.088

28 V fuente 5V (V)	4.987	5.010	5.022	5.047	4.983	5.051	5.057	5.062	5.074	5.068	5.075
20 V fuente 5V (V)	5.017	5.042	5.048	4.956	5.061	5.050	5.062	5.074	5.006	5.045	5.064
24 V fuente 15 V (V)	15.240	15.254	15.123	15.367	15.150	15.256	15.234	15.176	14.986	14.876	14.998
28 V fuente 15V (V)	17.813	17.840	17.658	17.179	17.659	17.509	17.561	17.482	17.64	17.462	17.376
20 V fuente 15V (V)	12.812	12.920	12.796	13.213	12.95	12.504	13.208	13.254	13.135	13.16	13.692
Disparo Sobretensión UL (V)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Disparo Subtensión UL (V)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Disparo Subtensión IEC (V)	OK 186	OK 187	OK 186	OK 187	OK 184	OK 186	OK 187	OK 188	OK 189	OK 190	OK 185
Disparo Sobretensión IEC (V)	OK 283	OK 287	OK 291	OK 285	OK 289	OK 290	OK 283	OK 285	OK 292	OK 290	OK 288
Filtrado tacométrica	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Offset comparadores (V)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Fallo ventiladores IEC	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Fallo ventiladores UL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TEST(OK/ NO OK)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

Tabla 17. Ensayo funcional HSS tarjeta monitorización ventiladores I

Monitorización ventiladores HSS															
Hora		12:03	12:33	13:03	13:33	14:03	14:33	15:03	15:33	16:03	16:33	17:03	MAX (%)	MIN (%)	Δ DESV (%)
		DESVIACIÓN (%)													
Medidas	Temperatura PCB	18,30	26,81	34,15	43,59	58,97	58,93	75,42	84	93,06	102,12	115,65	-	-	-
	Tensión ventilador bobina D=0 (V)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Tensión ventilador bobina D=25 (V)	1,29	1,33	0,54	-0,23	0,53	1,95	0,46	1,58	1,53	1,53	1,55	1,95	-0,23	2,18
	Tensión ventilador bobina D=50 (V)	1,31	1,38	0,48	0,13	0,66	0,31	0,54	1,79	1,58	1,62	2,12	2,12	0,13	1,99
	Tensión ventilador bobina D=100 (V)	1,35	1,40	0,49	0,15	0,70	0,35	0,58	1,82	1,59	1,69	2,14	2,14	0,15	1,99
	24V fuente 5V (V)	-0,26	-0,52	-0,72	0,34	-0,98	-1,12	-1,40	-1,34	-0,98	-1,42	-1,66	0,34	-1,66	2,00
	28 V fuente 5V (V)	0,36	-0,10	-0,34	-0,84	0,44	-0,92	-1,04	-1,14	-1,38	-1,26		0,44	-1,40	1,84
	20 V fuente 5V (V)	0,34	0,84	0,96	-0,88	-1,22	-1,00	-1,24	1,48	-0,12	0,9	1,28	1,28	-1,24	2,52
	24 V fuente 15 V	-1,50	-1,59	-0,72	-2,35	-0,90	-1,61	-1,46	-1,07	0,19	0,93	0,11	0,93	-2,35	3,27
	28 V fuente 15V (V)	-18,65	-18,83	-17,62	-14,43	-17,63	-16,63	-16,97	-16,45	-17,50	-16,31	-15,74	-14,43	-18,83	4,41
	20 V fuente 15V (V)	14,69	13,97	14,79	12,01	13,77	16,74	12,05	11,74	12,53	12,37	8,82	16,74	8,82	7,92
	Disparo Sobretensión UL (V)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Disparo Subtensión UL (V)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Disparo Subtensión IEC (V)	OK 1,09	OK 1,63	OK 1,09	OK 1,63	OK 0,00	OK 1,09	OK 1,63	OK 2,17	OK 2,72	OK 3,26	OK 0,54	OK 3,26	0,00	3,26
	Disparo Sobretensión IEC (V)	OK- 1,57	OK- 0,17	OK 1,22	OK -0,87	OK 0,52	OK 0,87	OK -1,57	OK -0,87	OK 1,57	OK 0,87	OK 0,17	OK 1,57	-1,57	3,13
	Filtrado tacométrica	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	-
	Offset comparadores (V)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	-
	Fallo ventiladores IEC	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	-
	Fallo ventiladores UL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TEST(OK/ NO OK		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

Tabla 18. Ensayo funcional HSS tarjeta monitorización ventiladores II

Durante el ensayo funcional HSS, es correcto en todos los puntos de medida y no existe una desviación relevante aparentemente causada por la variación de temperatura.

En el caso de la tensión de 15 V, se observan unas variaciones considerables, pero es debido a las variaciones en la tensión de alimentación de 24 V, ya que el convertidor R24P15S/P no es regulado (convertidor DC/DC reductor). Se observa que las variaciones de la alimentación de 24 V que son del orden de $\pm 16\%$ son las mismas, en valor porcentual, a las encontradas en la tensión entregada por dicho convertidor. En apartados posteriores se estudian dichas variaciones debidas exclusivamente a cambios en la temperatura.

Las variaciones en la determinación de la tensión de paro se deben al error introducido por el mando del autotransformador de la fuente de tensión alterna. En el apartado *Análisis de resultados* se profundiza el análisis.

3.3.2.3.1.2. Ensayo CSS

Monitorización ventiladores CSS								
Hora		09:10	09:40	10:10	10:40	11:10	11:40	12:10
Ambiente	Temperatura de referencia	20	10	0	-10	-20	-30	-40
	Termopar ambiente(°C)	19.60	12.10	2.28	-7.78	-18.4	-27.11	-30.26
	Termopar PCB (°C)	18.85	15.5	6.25	-4.02	-13.62	-22.22	-27.06
Medidas	Tensión ventilador bobina D=0 (V)	0	0	0	0	0	0	0
	Tensión ventilador bobina D=25 (V)	9.881	9.817	9.766	9.685	9.459	9.576	9.567
	Tensión ventilador bobina D=50 (V)	9.879	9.804	9.758	9.664	9.451	9.571	9.561
	Tensión ventilador bobina D=100 (V)	9.875	9.799	9.751	9.678	9.444	9.563	9.556
	24V fuente 5V (V)	5.018	4.993	5.023	4.985	4.986	5.019	5.044
	28 V fuente 5V (V)	4.987	4.988	5.009	5.011	5.007	4.997	5.045
	20 V fuente 5V (V)	5.017	5.002	5.027	5.13	5.026	5.027	5.041
	24V fuente 15V (V)	15.241	15.230	15.150	15.251	15.423	15.238	15.346
	28 V fuente 15V (V)	17.813	17.865	17.897	17.931	17.840	17.900	17.973
	20 V fuente 15V (V)	12.812	12.487	13.158	13.230	13.322	13.201	13.323
	Disparo Sobretensión UL (V)	-	-	-	-	-	-	-
	Disparo Subtensión UL (V)	-	-	-	-	-	-	-
	Disparo Subtensión IEC (V)	OK 186	OK 188	OK 187	OK 189	OK 187	OK 189	OK 189
	Disparo Sobretensión IEC (V)	OK 283	OK 286	OK 285	OK 291	OK 288	OK 292	OK 290
	Filtrado tacométrica	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	Offset comparadores (V)	1,2	1,2	1,28	1,3	1,3	1,3	1,3
	Fallo ventiladores IEC	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	Fallo ventiladores UL	-	-	-	-	-	-	-
TEST(OK/ NO OK)		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

Tabla 19. Ensayo funcional CSS tarjeta monitorización ventiladores I

Monitorización ventiladores CSS										
Hora	09:10	09:40	10:10	10:40	11:10	11:40	12:10	MAX (%)	MIN (%)	Δ DESV (%)
DESVIACIÓN (%)										
Tensión ventilador bobina D=0 (V)	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
Tensión ventilador bobina D=25 (V)	-1,19	-1,83	-2,34	-3,15	-5,41	-4,24	-4,33	-1,19	-5,41	4,22
Tensión ventilador bobina D=50 (V)	-1,21	-1,96	-2,42	-3,36	-5,49	-4,29	-4,39	-1,21	-5,49	4,28
Tensión ventilador bobina D=100 (V)	-1,25	-2,01	-2,49	-3,22	-5,56	-4,37	-4,44	-1,25	-5,56	4,31
24V fuente 5V (V)	0,36	-0,14	0,46	-0,3	-0,28	0,38	0,88	0,88	-0,30	1,18
28 V fuente 5V (V)	-0,26	-0,24	0,18	0,22	0,14	-0,06	0,9	0,90	-0,24	1,14
20 V fuente 5V (V)	0,34	0,04	0,54	2,6	0,52	0,54	0,82	2,60	0,04	2,56
24 V fuente 15 V	1,61	1,53	1,00	1,67	2,82	1,59	2,31	2,82	1,00	1,82
28 V fuente 15V (V)	18,75	19,10	19,31	19,54	18,93	19,33	19,82	19,82	18,75	1,07
20 V fuente 15V (V)	-14,59	-16,75	-12,28	-11,80	-11,19	-11,99	-11,18	-11,18	-16,75	5,57
Disparo Sobretensión UL (V)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Disparo Subtensión UL (V)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Disparo Subtensión IEC (V)	OK 1,09	OK 2,17	OK 1,63	OK 2,72	OK 1,63	OK 2,72	OK 2,72	OK 2,72	OK 1,63	OK 1,09
Disparo Sobretensión IEC (V)	OK -1,57	OK -0,52	OK -0,87	OK 1,22	OK 0,17	OK 1,57	OK 0,87	OK 1,57	OK - 0,87	OK 2,43
Filtrado tacométrica	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	-	-	-
Offset comparadores (V)	1,2	1,2	1,28	1,3	1,3	1,3	1,3	1,30	1,20	0,10
Fallo ventiladores IEC	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	-	-	-
Fallo ventiladores UL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TEST(OK/ NO OK)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

Tabla 20. Ensayo funcional CSS tarjeta monitorización ventiladores II

No se aprecian diferencias notables respecto a los resultados de la prueba HSS. Como única diferencia apreciable se tiene un aumento de 100 mV en la tensión de offset de los comparadores al llegar a temperaturas por debajo de 0°C.

Las pruebas de fallo de ventiladores y de servicios auxiliares fueron correctas durante todo el ensayo.



Imagen 37. Medida de señal de error durante HALT.
Error ventiladores (amarillo) y comparadores supervisión de estado de ventiladores (verde)

3.3.2.3.2. Resultados de la monitorización continua

Tras realizar la monitorización de los diferentes parámetros de interés del circuito se muestran los resultados. En ellos se muestra el porcentaje de error máximo a lo largo de todo el ensayo.

3.3.2.3.2.1. Ensayo HSS

Se parte de 20 °C y se va incrementando la temperatura en intervalos de 10°C hasta los 130°C de la cámara climática (en realidad no llega a alcanzarlos). A nivel general no se observa ningún fallo en las señales monitorizadas, no obstante se mostrarán más adelante los detalles del análisis.

Monitorización ventiladores HSS				
		% Error MAX	% Error	Δ % Error
Medidas	Tensión de alimentación P5	1,97	-0,92	2,89
	Tensión de alimentación P15	19,17	-19,92	39,09
	Frecuencia de reloj CLOCK	0,02	-0,19	0,21
	Tensión referencia IEC VL	-0,61	-0,71	0,10
	Tensión referencia IEC VH	-0,27	-0,40	0,13
	PWM IND	5,51	-3,04	8,55
	Equilibrado bus (diferencia entre ramas)	0,48	-1,52	2,01

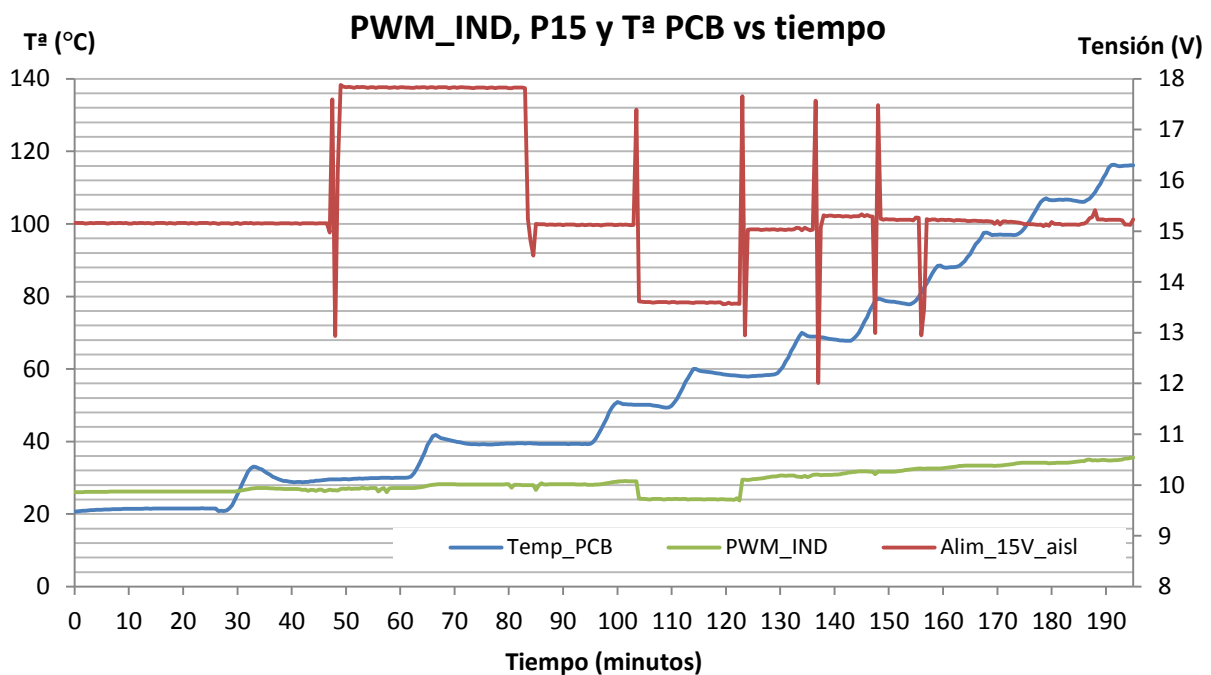
	Referencia HL	3,03	-1,48	4,51
	Referencia LL	2,32	0	2,32
TEST(OK/ NO OK)		OK	OK	OK

Tabla 21. Ensayo monitorización HSS tarjeta monitorización ventiladores

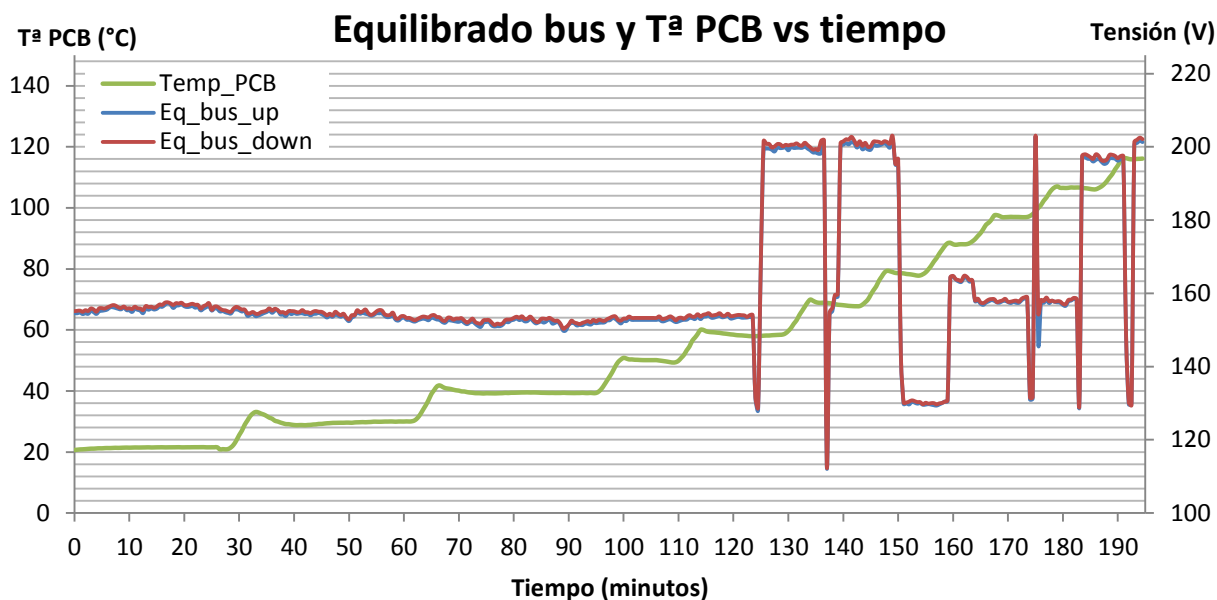
La variación tan grande que se tiene en la tensión de alimentación P15 aislada en el ensayo funcional es debida a los cambios en la tensión de referencia de 24 V (como se explica en el anterior apartado), que alimenta el convertidor aislado que genera dichos 15 V. Por ello, estas variaciones no se deben a incrementos de temperatura y como se ha detallado en el análisis del ensayo funcional, está acorde con las variaciones en la alimentación P24. Como se puede observar el resto de valores se encuentran dentro de los parámetros esperables y normales para el correcto funcionamiento del circuito.

Posteriormente en este documento se analiza este resultado y se estudia la variación de P15 debido sólo a variaciones de temperatura.

En el apartado 2.1 del Anexo I se muestran todas las gráficas de este ensayo



Gráfica 10. T. monit. ventiladores HSS: TªPCB, PWM_IND y P15 vs tiempo



Gráfica 11. T. monit. ventiladores HSS: TªPCB y equilibrado bus vs tiempo

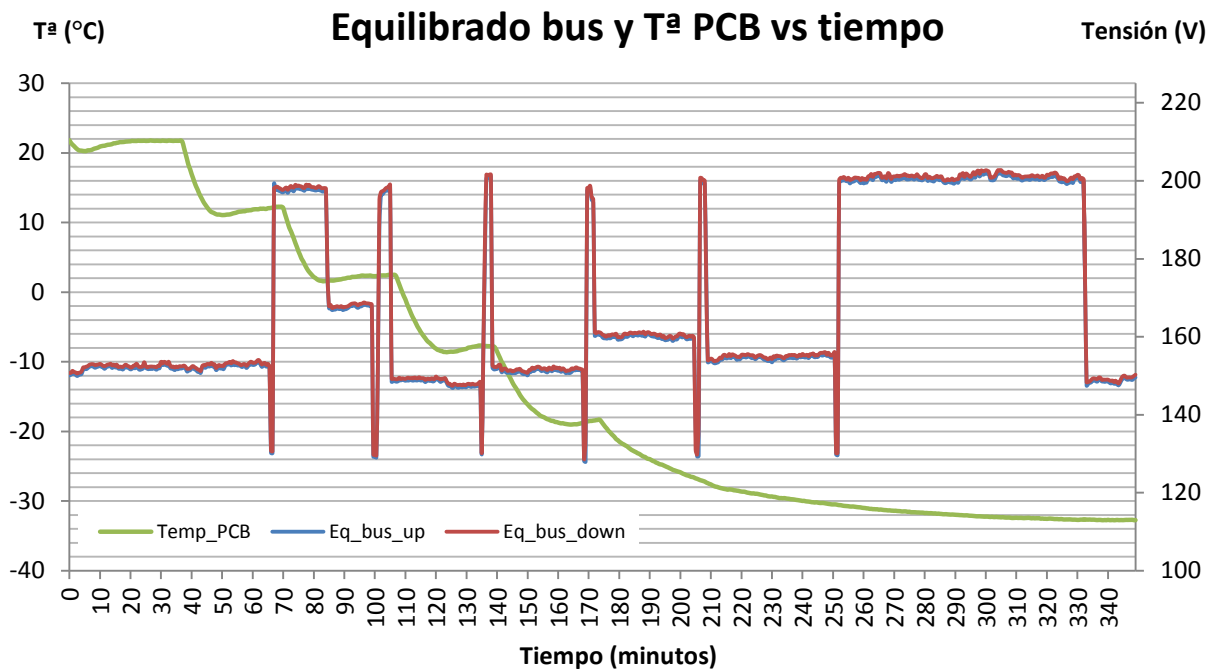
3.3.2.3.2.2. Ensayo CSS

Monitorización ventiladores CSS				
		% Error MAX	% Error	Δ % Error
Medidas	Tensión de alimentación P5	1,10	-0,68	1,77
	Tensión de alimentación P15	20,71	-16,06	36,77
	Frecuencia de reloj CLOCK	-0,14	-0,53	0,38
	Tensión referencia IEC VL	-0,73	-1,11	0,38
	Tensión referencia IEC VH	-0,40	-0,69	0,29
	PWM IND	-1,04	-4,90	3,86
	Equilibrado bus (diferencia entre ramas)	-0,24	-0,98	0,74
	Referencia HL	5,12	1,59	3,53
	Referencia LL	4,55	1,06	3,49
TEST(OK/ NO OK)		OK	OK	OK

Tabla 22. Ensayo monitorización CSS tarjeta monitorización ventiladores

Se considera el mismo comportamiento de la fuente de 15V que en el apartado 2.1.2.1. Se analizará posteriormente.

En el apartado 2.2 del Anexo II se muestran todas las gráficas de este ensayo

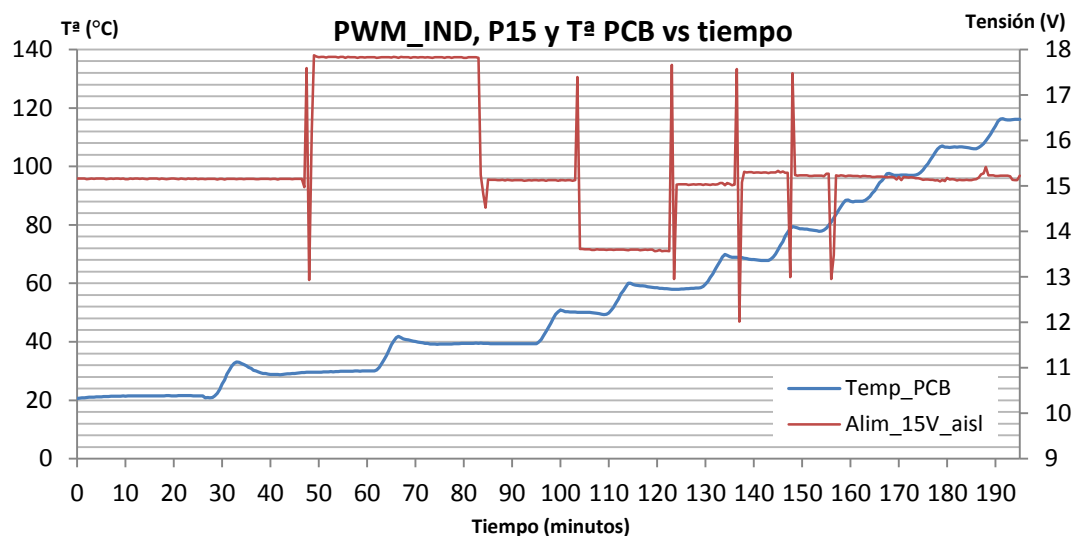


Gráfica 12. T. monit. ventiladores CSS: T^a PCB y equilibrado bus vs tiempo

3.3.2.3.3. Análisis de resultados

Convertidor DC/DC

Se debe tener en cuenta que el ensayo funcional ha sido realizado de forma paralela al de monitorización continua y por ello se pueden apreciar variaciones en algún parámetro en los puntos en los que se ha estabilizado la temperatura.



Gráfica 13. T. monit. ventiladores HSS: T^a PCB, PWM_IND y P15 vs tiempo

Especialmente se acusa este comportamiento en la tensión entregada por la fuente no regulada. Estos cambios por tanto no se deben a variaciones en la temperatura (en esos intervalos es constante), si no a variaciones en la tensión de alimentación.

En la imagen superior se aprecia como durante un intervalo determinado se hace trabajar a la tarjeta con una tensión de entrada superior a la nominal, a fin de aumentar el estrés en la misma. Lo mismo se hace para tensiones inferiores a la nominal. Los resultados se muestran satisfactorios, como se explica en el apartado de ensayos funcionales.

Señal CLOCK

Tras el ensayo se comprueba que la variación en la señal cuadrada entregada por el LTC6900 presenta una variación conforme a la temperatura:

- HSS: frecuencia aumenta con la temperatura presentando un máximo a los 85°C y decayendo a partir de esa temperatura (consultar anexo I, apartado 2.1).
- CSS: se aprecia un comportamiento de aproximadamente proporcional a la temperatura (presenta pequeñas oscilaciones). Se puede apreciar en Anexo I apartado 2.2.

Al consultar las especificaciones del fabricante, se aprecia que el rango de temperatura es de -40°C hasta 85°C, y en la prueba HSS el dispositivo trabaja fuera de este intervalo. Queda comprobada la robustez de este componente. Como se observa en la figura siguiente, la frecuencia de oscilación depende de los valores de N y de Rset.

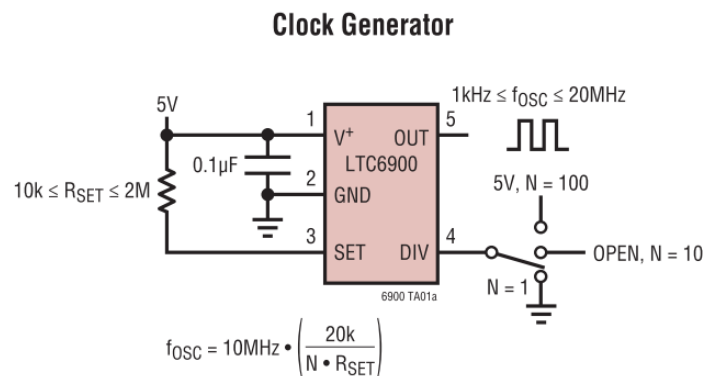


Imagen 38..LTC6900 Clock Generator
Fuente: Linear Technology [14]

Según el fabricante de resistencias *Ohmite*, la desviación de la resistencia con la temperatura presente un comportamiento dado en la siguiente tabla:

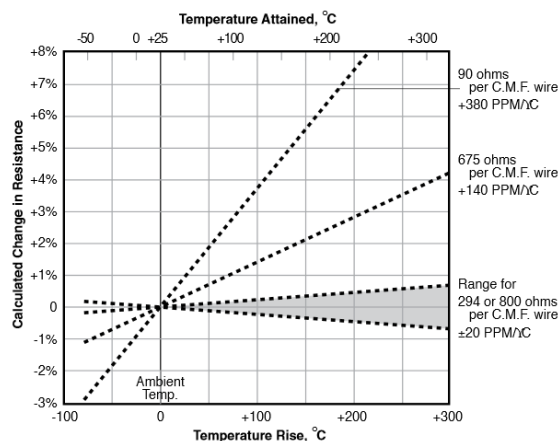


Imagen 39. Variación R con Tª.
Fuente: Ohmite [15]

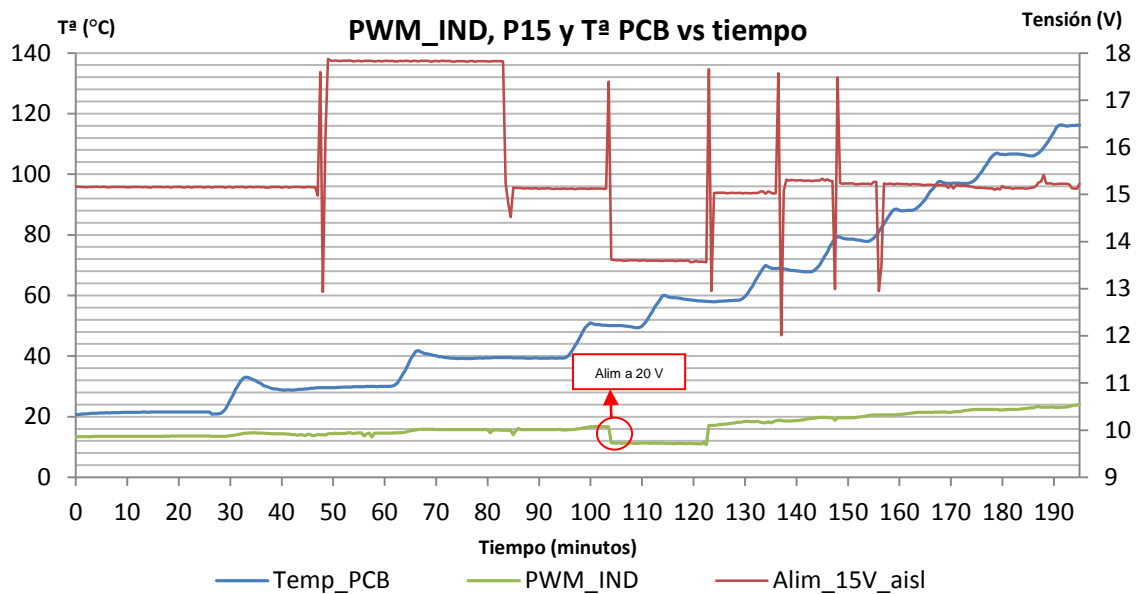
Se observa que si se tiene un aumento en la resistencia de un 5%:

$$f_{osc} = 10M * \frac{20k}{N * R_{set}} = 10M * \frac{20k}{N * (1M + 0,05 * 1M)} = 1904,76 \text{ Hz}$$

Lo cual corresponde a una variación en la frecuencia de -4,76%. No obstante, la variación máxima durante la prueba es del 0,5% (prueba CSS), en la que se llega a una frecuencia de 1990 Hz, siendo aceptable para el correcto funcionamiento del equipo (según requisitos de diseño la variación máxima aceptable es de 1%).

Señal PWM_IND

Como parte del ensayo funcional se variaron las condiciones de funcionamiento normales del equipo para comprobar su comportamiento frente a posibles perturbaciones. En este caso se varió la tensión de alimentación en distintos puntos del ensayo para simular un posible defecto en la alimentación de 24 V (que en el equipo proviene de la tarjeta ABK0016).



Gráfica 14. T. monit. ventiladores HSS: TªPCB, PWM_IND y P15 vs tiempo

De esta gráfica se observa que a pesar de que la tensión PWM_IND tiene un buen rechazo a los aumentos en la tensión de alimentación, sufre variaciones más considerables al disminuir dicha tensión. Este comportamiento se analiza a continuación.

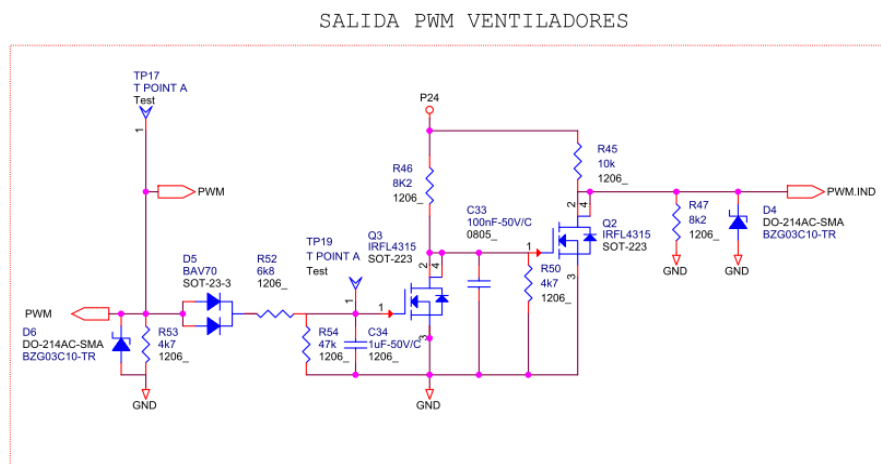


Imagen 40. Circuito fallo ventiladores [10]

Al aumentar la tensión de alimentación P24:

$$PWM_{IND} = 28 * \frac{8,2K}{8,2K + 10K} = 12,61 V$$

Gracias al diodo Zener, cuya tensión Zener V_Z es de 10V, lo cual asegura que para tensiones mayores dentro de su rango las recortará a 10V. Se consultan datos del fabricante y se comprueba que V_Z tiene un rango de 9,4 a 10,6 V.

PRIMARY CHARACTERISTICS		
PARAMETER	VALUE	UNIT
V_Z range nom.	10 to 270	V
Test current I_{ZT}	2 to 50	mA
V_{BR}	9.4 to 251	V
V_{WM}	8.2 to 220	V
P_{PPM}	300	W
T_J max.	150	°C
V_Z specification	Pulse current	
Int. construction	Single	
Polarity	Uni-directional	

Tabla 23. Características Zener I [17]

Se verifica que está dentro del rango de temperatura del ensayo, por tanto se descarta a priori fallo en comportamiento del diodo Zener. Posteriormente se comprueba en laboratorio correcto funcionamiento tras ensayo y se observa una tensión inversa de 9,8 V. Posteriormente se estudia su variación con la temperatura.

Para el caso de disminución en la tensión de alimentación (en la prueba 20V):

$$PWM_{IND} = 20 * \frac{8,2K}{8,2K + 10K} = 9,01 V$$

Por lo que se puede adjudicar esa disminución en PWM_{IND} a esta variación de la tensión de alimentación. Se calcula la tensión límite de alimentación:

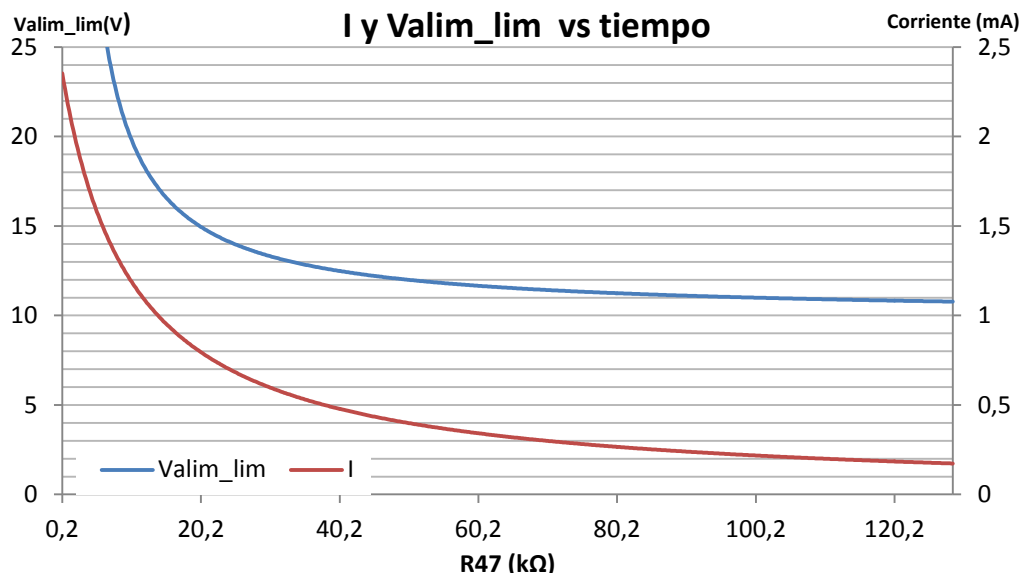
$$10 = Valim * \frac{8,2K}{8,2K + 10K}$$

$$Valim = 22,19 V$$

Lo que significa que a partir de 22,19 V la tensión caerá por debajo de los 10 V, pudiendo disminuir la tensión que ve el ventilador de la bobina. Además se debe tener en cuenta que aunque este ventilador es una alta impedancia, si demanda algo de corriente, la tensión será aún más baja, pudiendo perjudicar el funcionamiento correcto del equipo. Como solución se plantea disminuir la resistencia R47 (8,2KΩ) para aumentar el rango de rechazo a perturbaciones en la alimentación:

$$V_{corte} = Valim * \frac{R47}{R47 + 10K}$$

En la siguiente gráfica se muestra el efecto de la modificación de R47:



Gráfica 15. T. monit. ventiladores: Tensión alimentación límite y corriente vs Resistencia R47

Siendo:

- Valim_lim: tensión mínima para obtener una salida de 10 V; si esta disminuye se obtendrán menos de 10 V en PWM_IND.
- I: es la corriente circulando por la rama R47 asumiendo que no existe consumo de los ventiladores.

Se concluye que aumentando el valor de dicha resistencia se mejora el rechazo a perturbaciones en la alimentación. En última instancia retirar dicha R47 haría que para cualquier valor por encima de 0 V el circuito siga dando una salida deseada, pero teniendo en cuenta el funcionamiento del equipo, se consulta la tarjeta AAV0003 (tarjeta de alimentaciones) para obtener los límites en la tensión de alimentación:

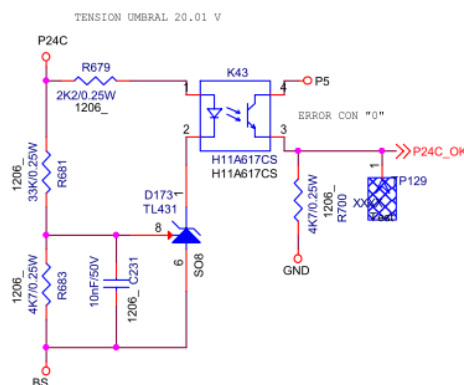


Imagen 41. Circuito alimentación tarjeta de fuentes [10]

El equipo está configurado para detener su funcionamiento y dar señal de error si la tensión de alimentación disminuye del umbral de 20,01 V. Escogiendo un valor comercial de resistencia de 12 kΩ, se tendrían una tensión de 18,33 V. Con esta modificación, mientras la alimentación esté por encima de 18,33 V, PWM_IND no bajará de 10 V. Por tanto se propone sustituir R47 por una resistencia de 12kΩ para mejorar el rechazo a disminuciones de tensión.

Otra opción para obtener una tensión límite similar, es la de disminuir el valor de R45 en vez de aumentar R47. Finalmente se opta por un valor de 6,8 kΩ, lo cual permite, además de corregir la disminución de tensión límite (18,3 V), proporcionar algo de corriente en caso de que la carga presente consumo (ventilador).

Queda planteado para líneas futuras comprobar la tensión a partir de la cual el ventilador da su velocidad máxima de giro.

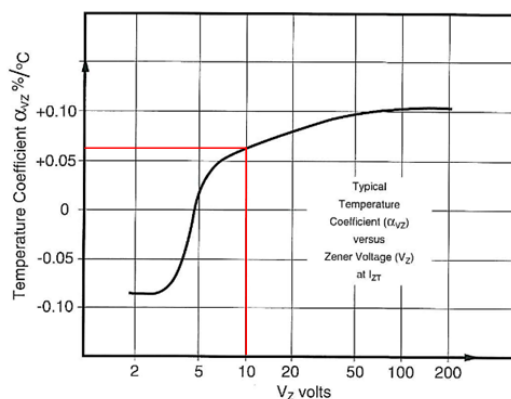
Volviendo a la gráfica obtenida en el ensayo HSS, se aprecia una tendencia de aumento de PWM_IND directamente proporcional a la temperatura aproximadamente lineal. Este comportamiento puede deberse a la variación de la tensión Zener al aumentar la temperatura. De los datos del fabricante:

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified)										
PART NUMBER	ZENER VOLTAGE RANGE			TEST CURRENT	REVERSE LEAKAGE CURRENT		DYNAMIC RESISTANCE		TEMPERATURE COEFFICIENT OF ZENER VOLTAGE	
	V_Z at I_{ZT1}			I_{ZT1}	I_R at V_R		Z_Z at I_{ZT1}		TK_{VZ} at I_{ZT1}	
	V			mA	μA	V	Ω		% / K	
	MIN.	NOM.	MAX.		MAX.		TYP.	MAX.	MIN.	MAX.
BZG03C10	9.4	10	10.6	50	10	7.5	2	4	0.05	0.09
BZG03C11	10.4	11	11.6	50	4	8.2	4	7	0.05	0.1

Tabla 24. Características Zener II [17]

Utilizando el dato más desfavorable (tempco 0,09 %/K):

$$\Delta V_Z = 0,09 * \Delta T * 10 = 0,09 * (120 - 20) * 10 = 0,9 \text{ V}$$



Gráfica 16. Característica Tempco-Vz.
Fuente: Microsemi Corp. [16]

Asumiendo que la tensión a la salida es igual a la Zener (se comprobará a continuación si es válido):

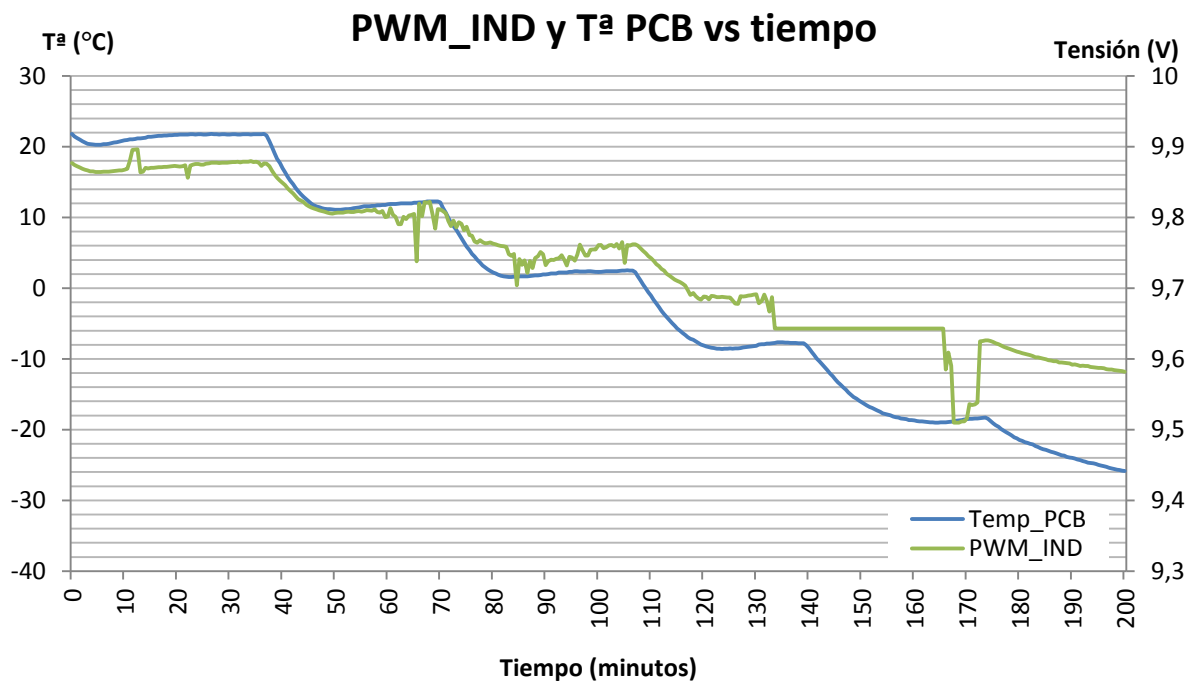
- Del ensayo se tiene que la tensión V_Z a temperatura ambiente es de unos 9,8 V. Teniendo en cuenta sólo el efecto de la tensión Zener en la salida, se ha calculado que la nueva tensión umbral se sitúa en 10,7 V. En el ensayo se han obtenido aproximadamente 10,5 V, lo cual correspondería a un *tempco* de 0,077 %, que concuerda con los rangos dados por el fabricante.

- Para la tensión de 24 V y con el divisor resistivo original se tiene una tensión de 10,8 V que es recortada por el Zener. Por ello los cálculos anteriores tienen validez porque la tensión a la salida es V_Z .

Se concluye que este comportamiento es el esperable y correcto.

PWM_IND en ensayo CSS

Durante el ensayo CSS se acusa una tendencia descendente de la tensión PWM_IND con la temperatura:



Gráfica 17. T. monit. ventiladores CSS: PWM_IND y Tª PCB vs tiempo

En una situación real de funcionamiento lo que esto provocaría sería que para temperaturas por debajo de -10°C se tengan tensiones del orden de 9,6 V. En principio el funcionamiento de este circuito debe ser el de dar una tensión máxima al ventilador de la bobina independientemente del nivel de los otros ventiladores. No obstante se debe tener en cuenta que si el equipo estuviese a temperaturas inferiores a 0°C sería en el momento del arranque, ya que posteriormente y debido al calor disipado por la electrónica del equipo la temperatura se elevaría lo suficiente como para volver a subir la tensión PWM_IND. Por eso en ese modo de funcionamiento el hecho de que la velocidad del ventilador sea ligeramente inferior no provocaría problemas de sobrecalentamiento en el equipo.

Realizando el mismo análisis que en el apartado anterior se puede esperar que la tensión Vz de D4 disminuya con la temperatura, coincidiendo con los datos obtenidos.

A pesar de ello se desconoce la tensión a partir de la cual el ventilador da su velocidad máxima y será necesario probarlo para analizar el efecto que pueda tener en la refrigeración del equipo. Debido al tiempo limitado no fue posible realizar esta prueba y queda planteado como línea futura.

Variación P15

La variación tan grande que se tiene en la tensión de alimentación P15 aislada es debida a los cambios en la tensión de referencia de 24 V (como se explica en el anterior apartado), que alimenta el convertidor aislado que genera dichos 15 V. Por ello, estas variaciones no se deben a incrementos de temperatura y como se ha detallado en el análisis del ensayo funcional, está acorde con las variaciones en la alimentación P24.

Si se estudia la variación de este parámetro exclusivamente en los aumentos de temperatura (descartando los datos obtenidos durante la prueba funcional de variación de P24), se obtiene:

- HSS:
 - % Error MAX: 2,21
 - % Error MIN: -1,21
 - Δ % Error: 5,41

- CSS:
 - % Error MAX: 2,89
 - % Error MIN: -3,46
 - Δ % Error: 6,36

Como se puede observar estos valores se encuentran dentro de los parámetros esperables y normales para el correcto funcionamiento del circuito, en el que se admiten variaciones de $\pm 5\%$ respecto a valores nominales.

Alimentaciones de integrados

A continuación se estudian los límites en la alimentación de todos los circuitos integrados de la tarjeta, a fin de verificar que las variaciones en la misma a lo largo del ensayo mantiene las condiciones adecuadas para el funcionamiento de los mismos:

CI	Código	Rango tensión alimentación (V)
Fuente DC/DC aislada	R24P15S	24 \pm 10%
Regulador lineal 5V	L7805	40
Generador cuadrada	LTC6900	2,7 - 5,5
Generación tabla verdad	CD74HC4020M	2 - 6
Multiplexor	CD74HCT4067M	2 - 6
Comparadores ventiladores	LM239D	2 - 36
Operacional	TL074ID	± 18

Tabla 25. Alimentaciones integrados tarjeta monit. ventiladores

A excepción de la fuente DC/DC aislada (la cual se ha ensayado por encima de sus valores nominales), el resto de integrados se mantienen dentro del rango dado por el fabricante. En el caso de dicha fuente y teniendo en cuenta el apartado anterior (sólo variaciones de temperatura), se tiene una salida aceptable ya que se encuentra dentro del rango $15\pm 5\%$.

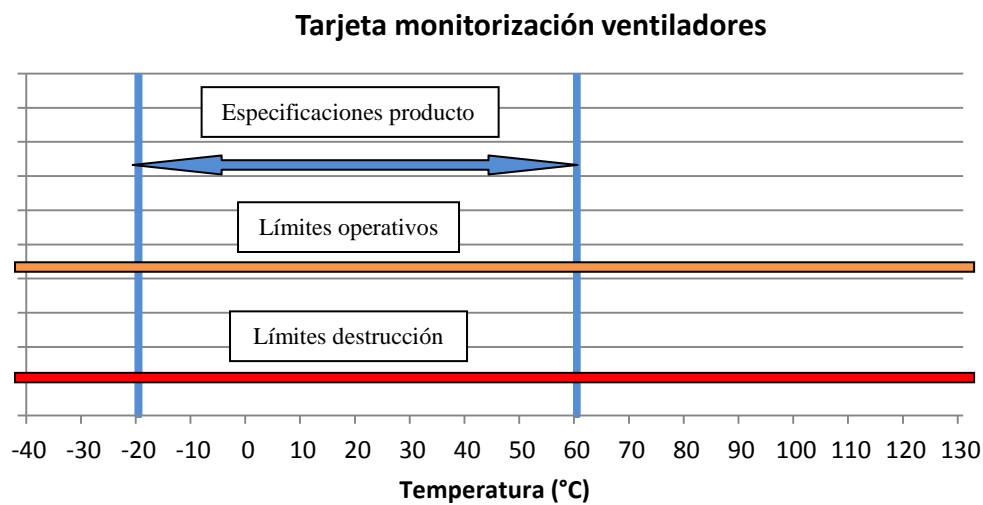
3.3.2.4. Conclusiones

Durante el ensayo HALT se ha sometido a la tarjeta de monitorización de ventiladores a estrés térmico de diferente naturaleza. Se comprueba que durante ambos ensayos la lógica de fallo de ventiladores y la de detección de tensión fuera de rango en servicios auxiliares funciona correctamente. Se han ensayado ventiladores con referencia tacométrica y con referencia de tensión, así como tensión por debajo y encima de límites en servicios auxiliares.

Se han analizado el comportamiento de distintas señales del circuito y su comportamiento frente a la temperatura. Ninguna de estas señales se muestra inmune a variaciones térmicas pero todas se muestran dentro de los límites de funcionamiento del circuito. No se ha apreciado deterioro mecánico, en máscara de soldadura o barniz.

Adicionalmente se ha comprobado el rechazo a pequeñas variaciones en las alimentaciones y si este se mantiene con la temperatura. En la señal PWM_IND, tensión que se aplica al ventilador de la bobina (que debe tener valor máximo de 10 V independientemente de la velocidad de giro de los otros ventiladores) se ha observado que presenta una variación considerable frente a bajadas de tensión de alimentación. Debido a la importancia del correcto funcionamiento de este ventilador se ha analizado dicho comportamiento y propuesto una modificación al circuito para disminuir el límite de tensión a partir del cual PWM_IND baja por debajo de 10 V. Este límite estaba en 22,19 V y se ha disminuido a 18,3 V cambiando el valor de R45 y R47. Queda planteada como línea futura la comprobación de la tensión a partir de la cual el ventilador da velocidad máxima.

Tras el ensayo no se ha llegado a ningún límite destructivo y operativo, tanto inferior como superior, para lo cual sería necesario una cámara con mayor rango térmico. Los resultados obtenidos se muestran satisfactorios.



Gráfica 18. Resultados ensayos HALT tarjeta monitorización ventiladores

3.3.3. Tarjeta de sistema alimentación contactor CSS

3.3.3.1. Descripción en detalle

La tarjeta SAC o CSS (sistema de alimentación contactor o *contactor supply system*) es un pequeño inversor capaz de generar 220 Vac para alimentar el contactor de salida de los equipos fotovoltaicos. La principal utilidad de esto es el de mantener cerrado dicho contactor de salida AC si falla la red (huecos de tensión) siempre y cuando se tenga tensión de panel.

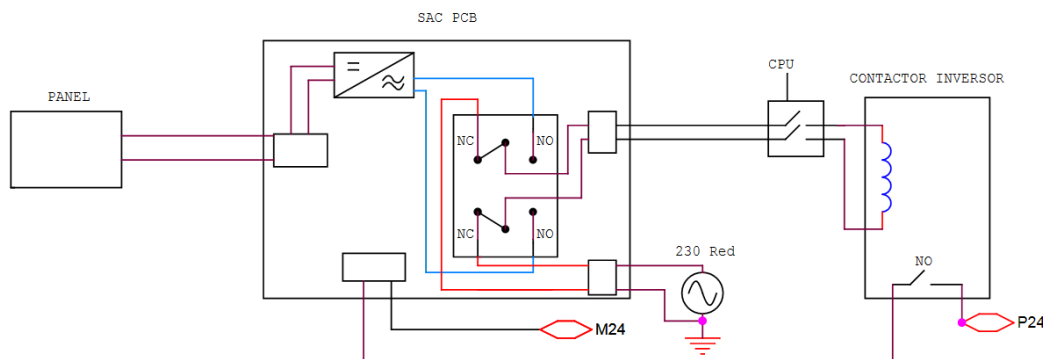


Imagen 42. Esquema situación SAC en conjunto del equipo

El funcionamiento general es el siguiente:

El contactor se encuentra en la posición mostrada en la figura anterior, con el contacto NC dentro de la SAC haciendo un bypass de la tensión de red. Desde la CPU se puede activar el pequeño contactor que energiza la bobina del contactor AC del inversor, el cual cierra el contacto normalmente abierto que alimenta la SAC con 24 V. Una vez alimentada comenzará a generar desde su pequeño inversor y a continuación se conmutará el relé de la SAC de manera que sea la tensión generada en ella la que alimenta la bobina del contactor del AC y la mantenga energizada. No obstante se debe tener en cuenta que el cierre de la misma se hace desde la red, debido a que la potencia pico necesaria para cerrarla no se puede generar desde la propia tarjeta.

Por tanto los paneles fotovoltaicos serán la fuente a partir de la cual generar dicha tensión, y serán la limitación en el funcionamiento de esta tarjeta. Como se ha mencionado, la tarjeta no es capaz de entregar un pico de potencia suficiente para cerrar el contactor del modelo *MonoBlock*, que es de hasta 2200 W. Para solucionar esto se accionará dicho contactor desde la red, de manera que la potencia a suministrar por la tarjeta será la de mantenimiento, la cual es mucho menor. Para conseguir esto se cuenta con un contactor auxiliar, por el cual se pasa la alimentación AC. En este contactor se producirá la conmutación en el momento en que el contactor de salida AC del equipo esté cerrado. Se incluye una NTC en la entrada de la alimentación para limitar la *inrush current* que se produce debido a los rebotes. A continuación se describen las partes más relevantes:

Fuente alimentación

La topología utilizada es Push-Pull; se necesita una topología aislada debido a que la masa de la alimentación obtenida se va a referenciar al negativo del bus. Mediante un TL431 se crea una referencia de tensión, que mediante aislamiento por optoacoplador genera la referencia para el controlador de la fuente.

Sincronización con red (detección paso por cero)

Una funcionalidad importante que requiere esta tarjeta es la sincronización de la tensión generada por la misma con la tensión de red. En vez de optar por una captación de la tensión de red, lo cual complicaría y encarecería el diseño, se opta por el siguiente circuito:

Para la realización del ensayo será necesario el siguiente equipamiento:

- Osciloscopios
- Multímetro
- Registrador de datos
- Sonda de temperatura
- Fuente de tensión capaz de entregar 1000 V y al menos 1 Amperio.
- Ordenador con elementos necesarios para cargar el firmware a través de JTAG al controlador de la tarjeta y software necesario.

Cabe destacar que en la prueba se monitorizará la temperatura mediante termopares tipo T.

El registrador de datos Agilent 34970A es utilizado para obtener una monitorización continua de los datos de medida internos a la tarjeta bajo test. Para ello es necesario utilizar el multiplexor de canales 34901A y un PC para la monitorización de los mismos. Además de los datos de tensiones DC y AC medidos en los puntos de test seleccionados, se mide tanto la temperatura de la cámara como la del circuito impreso mediante dos termopares tipo T.

3.3.3.2.1. Ensayo funcional

Este tipo de ensayo consiste en la comprobación del correcto funcionamiento durante el ensayo HALT de dispositivos semiconductores, entradas y salidas digitales, activaciones de relés, captaciones etc. Las comprobaciones se realizarán después de cada salto de temperatura y una vez esta es estable.

Las conexiones a realizar serán las siguientes:

- Se conectarán 24 Vdc al conector J3 teniendo en cuenta la polaridad correcta
- Se alimentará 1000 Vdc a J4, simulando la tensión de panel.
- J1 se alimentará con 220 Vac.

El siguiente diagrama ilustra el montaje:

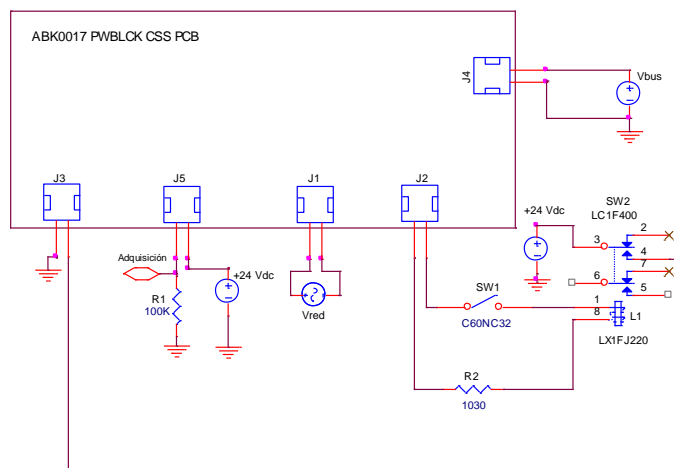


Imagen 45. Esquema montaje CSS para ensayos HALT

El procedimiento consiste en que, una vez realizado cada salto de temperatura y estabilizada la lectura, se realicen las comprobaciones y medidas pertinentes. A continuación se detallan cada una de ellas:

- Variación tensión de alimentación P15: a través de la fuente de tensión que alimenta la tarjeta desde J3 se procede tras cada salto y después de la estabilización de la temperatura ambiente a variar dicha alimentación entre 15 y 24 V. Se comprueba la tensión de salida de la fuente Push-Pull en D32 para

verificar si se encuentra entre los rangos de validez; 15.5 y 16.8 Vdc. Adicionalmente se comprueba que el LED D34 luce.

- **Sincronismo de red:** mediante esta medida se pretende comprobar la sincronización con red a lo largo del ensayo HALT. Se medirá la onda de tensión en TP2, la cual debe tener una amplitud de 3.3 Vdc y una frecuencia de 50 Hz. Tener en cuenta que la señal SINC se encuentra negada respecto a la tensión de red; estará a nivel alto (3,3 V) en el semiperíodo negativo y a nivel bajo (0V) en el positivo. Se visualizará mediante un osciloscopio comparándolo con la tensión de red.

- **Sincronismo tensión salida:** se comprueba que la tensión de salida (R_OUT y N_OUT) está en sincronía con la tensión de entrada. Para ello se mide con una sonda aislada entre TP11 y TP12. Se visualizará mediante un osciloscopio. Se debe obtener algo similar a la figura siguiente:

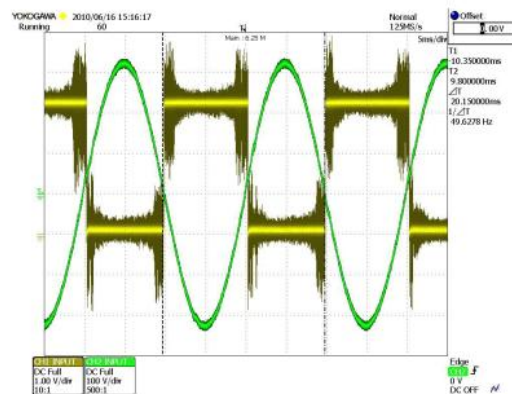


Imagen 46. Tensión de red (verde) y cuadrada sincronización SINC(amarilla).

- **Parada y arranque de convertidor:** en este apartado se pretende asegurar la entrada en funcionamiento y la parada del inversor de la SAC. Teniendo el contactor SW1 (figura X) activado Se sube la tensión de bus y se comprueba que tensión medida con sonda de tensión es de 220 Vac al llegar aproximadamente a 420 Vdc. Debe ser senoidal y su frecuencia debe ser 50 ± 2 Hz y presentar picos entre 300 y 355 V.

La fuente arranca cuando se tienen 380 Vdc y se encuentra activa hasta que se baja de 350 V o se sube de 1000 Vdc. Una vez pare por sobretensión, no volverá a arrancar hasta llegar a 980 Vdc, o a 380 Vdc si se detiene al llegar a 350 Vdc. El protocolo para probar:

- Comenzar en 0 Vdc y subir progresivamente hasta 380 Vdc.
- En el momento que arranca seguir subiendo hasta 1000 Vdc; el convertidor debería parar.
- Se baja la tensión hasta 980 Vdc y se comprueba que arranca el convertidor.
- Se baja hasta 350 Vdc, momento en el cual debe pararse de nuevo*

Las medidas se realizarán mediante la sonda aislada entre TP11 y TP12. Cuando el convertidor está funcionando se deberá tener 220 Vac y cuando está en parada la tensión debe ser nula.

*No se debe dejar mucho tiempo a 380 Vdc porque la fuente de 1000 Vdc puede oscilar su tensión de salida y crear problemas en la tarjeta.

3.3.3.2.2. Ensayo de monitorización continua

Mediante este test, se obtiene información acerca de los valores que toman las distintas variables adquiridas por el registrador de datos a lo largo del tiempo según se varía la temperatura. Este se lleva a cabo de forma simultánea a las pruebas CSS y HSS.

Se tomarán medidas cada 20 segundos mediante un registrador de datos y los datos serán analizados in-situ pero serán tratados y analizados posteriormente. Los parámetros a analizar se describen a

continuación. En el siguiente cuadro se muestran a modo de resumen todas las variables correspondientes a la monitorización continua:

SEÑAL	MEDIDA
Tensión generada	Sonda aislada TP11 y TP12
Tensión de red	Conector J1
Tensión alimentación P15	Medida tensión P15
Tensión alimentación P24	TP6
Tensión regulador P5	TP30 - GND
Tensión regulador P3V3	TP31 - GND
Tensión VR11	Terminales R11

Tabla 26. Monitorización continua tarjeta CSS

3.3.3.3. Resultados

Se realizan ensayos CSS y HSS sobre la tarjeta ABK0017 en la cámara climática del laboratorio de Ingeteam en Sarriguren. A continuación se muestra la bancada de ensayos:



Imagen 47. Tarjeta CSS en interior de la cámara

Para el ensayo es necesario utilizar apartamentas adicional al circuito, como por ejemplo fuentes de tensión diversas, osciloscopios, array de resistencias exterior o magnetotérmico y contactor. Todo ello queda detallado en el apartado Planteamiento, por lo que no se describirá de nuevo en el presente documento.



Imagen 48. Fotografías del banco de pruebas ensayo tarjeta CSS

Los ensayos HALT provocan un envejecimiento acelerado del componente, reduciendo de manera considerable el tiempo invertido durante el diseño y desarrollo de un equipo. Estas pruebas permiten conocer la situación de los límites de operación y destrucción de las tarjetas, lo que ayuda a localizar puntos débiles en el diseño. A continuación se muestran los resultados obtenidos en tres de las cinco fases que componen un ensayo completa HALT. Las pruebas han sido realizadas en el laboratorio de Ingeteam Energy en Sarriguren.

3.3.3.3.1. Resultados del test funcional

En el presente apartado se presentan los resultados correspondientes a los test funcionales, correspondientes a los ensayos HSS y CSS, realizados después de cada escalón de temperatura y tras la estabilización de la misma.

Una vez realizados los ensayos se realizará el cálculo de las desviaciones en cada punto del test funcional. Como el objetivo es comprobar la desviación debido exclusivamente al incremento de temperatura, se realiza la diferencia entre el máximo y mínimo obtenidos.

El porcentaje de variación ha sido calculado como:

$$\text{Desviación}(\%) = \frac{\text{Medida realizada} - \text{Valor esperado}}{\text{Valor esperado}} * 100$$

Y la variación de la misma:

$$\Delta \text{Desviación}(\%) = \text{Max}(\%) - \text{Min}(\%)$$

Siendo Max (%) y Min (%) los porcentajes de las variaciones máximas y mínimas respectivamente.

3.3.3.3.1.1. Ensayo HSS

Tarjeta :		Tarjeta SAC ensayo HSS												
Hora		9:50	10:10	10:50	11:20	11:30	11:55	12:20	12:55	16:50	17:50	18:10	18:30	19:05
Ambiente	Consigna temperatura (°C)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
	Temperatura cámara (°C)	18,50	26,42	34,94	44,21	52,53	61,38	61,58	71,68	82,54	100,63	110,68	120,73	125,34
	Temperatura PCB (°C)	19,25	28,3	37,62	47,31	57,13	67,05	76,28	86,12	96,38	106,19	116,56	126,56	133,13
Medidas	Alim J3 24 V: corriente(mA)*	250	245	240	235	225	215	215	215	215	210	210	210	200
	Alim J3 19,5 V: corriente(mA)*	310	300	305	300	300	295	295	295	295	295	290	290	280
	Alim J3 28 V: corriente(mA)*	240	230	230	225	215	215	195	190	190	185	185	180	170
	Parada SAC Vbus máxima (V)	983	983	984	983	984,5	986	989	994	1010	1033	-	-	-
	Rearranque tras Vbus máxima (V)	962	961	963	962	960	963	965	967	980	1000	-	-	-
	Parada SAC Vbus mínima (V)	351	352	350,5	348	348	350	351	346	339	332	328	322	290
	Rearranque tras Vbus mínima (V)	378	379	378	378	378	377	375	371	370	370	370	390	580
	Forma onda SAC**	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	Paso generación SAC**	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	Sincro red: frecuencia (Hz)	49,99	49,92	50,01	50,01	49,99	50,02	50,02	50,00	49,98	49,99	49,98	49,98	49,96

Sincro red: amplitud (V)	3,25	3,25	3,21	3,20	3,20	3,17	3,14	3,17	3,13	3,10	3,14	3,16	3,16
Sincro red: fase (rad)	En fase	En fase	En fase	En fase	En fase	En fase	En fase	En fase	En fase	En fase	En fase	En fase	En fase
Consumo fuente (mA)	240	230	225	220	220	210	210	210	210	210	210	210	200
Chop. Mosfet: frecuencia (kHz)	137	137,5	137	138	130	137	137,5	137	139	139	137	131	128
Chop. Mosfet: máximo (V)	49	49,5	49	50	51	51	51	52	52	53	53	53	52
Arranque(ms)***	0,179	0,179	0,179	0,174	0,174	0,174	0,175	0,180	0,185	0,179	0,180	0,180	0,175
TEST(OK/ NO OK)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO OK	NO OK	NO OK

Tabla 27. Ensayo funcional HSS tarjeta SAC I

* Esta corriente es la entregada por la fuente de 24 V. La tensión durante estas variaciones ha sido monitorizada mediante el registrador de datos. Por mayor claridad se mostrará en el siguiente apartado a través de diversas gráficas. En contraposición con “Consumo fuente”, estas corrientes son medidas mediante multímetro y no a través de la lectura del display de la fuente de tensión.

**Como se detalla en el documento ABK00171FJ02, se comprueba la correcta forma de onda generada por la SAC en cuanto a frecuencia, fase y amplitud, comparándola con la tensión de red. Del mismo modo, el apartado “Entrada SAC” hace referencia al comienzo de generación de tensión de la SAC, que debe darse justo en el paso por cero de la tensión de referencia introducida en el conector J1 (en este caso la tensión de red). Más adelante en este documento se adjuntan capturas que ilustran estos resultados.

***Durante el ensayo se apreció que en el pequeño intervalo de tiempo en que la SAC comienza a generar se produce una resonancia. Se midió la frecuencia de la onda en ese intervalo. Posteriormente se analizarán los resultados.

A partir de los 116° se observó una falta en la parada de generación de la SAC por tensión de bus máxima. Esto no quiere decir que el sistema no se detenga ante una tensión de bus elevada, ya que durante la prueba se ensayó hasta el máximo que la fuente DC es capaz de proporcionar (1062 V). Como consecuencia de esto, tampoco rearranca el convertidor al disminuir la tensión hasta 980 aproximadamente. Adicionalmente, la parada por tensión de bus baja a partir de esta temperatura se ha visto disminuida en más de 20 V, estando la tensión en el último punto del ensayo 60 V por debajo de esta. Posteriormente en este documento se analizará dicha falta.

Cabe destacar que tras llegar al límite de la cámara climática y tras llevar la temperatura de la PCB a 133,13 °C, se procedió a descender la temperatura hasta una en la que no se acusó falta; 90°C. Se comprobó que la tarjeta se recuperaba, y que volvía a funcionar correctamente. Se procedió a ascender la temperatura de nuevo y se volvió a detectar el fallo a la misma temperatura. Se comprueba que no se causó daño permanente en el dispositivo.



Imagen 49. Captura de osciloscopio del arranque de la SAC durante CSS (-20°C). Se pueden apreciar la onda cuadrada SYNCH (verde), la tensión de red (turquesa) y la salida J2 (amarillo)

A lo largo del ensayo se han realizado capturas de todos los arranques. Se ha comprobado que en la entrada en funcionamiento de la SAC se sincronizase correctamente con la tensión de red, gracias a la onda cuadrada de sincronización SYNCH. Es importante comprobar que el comienzo de generación de tensión se produzca en el paso por cero de la tensión de referencia. Estos parámetros han dado resultados satisfactorios en todas las pruebas, así como la calidad de la onda generada por la SAC, cuyos valores han sido registrados en la monitorización continua, y en el apartado siguiente se analizarán con profundidad.

Tarjeta SAC ensayo HSS																	
HORA		9:50	10:10	10:50	11:20	11:30	11:55	12:20	12:55	16:50	17:50	18:10	18:30	19:05	MAX (%)	MIN (%)	Δ (%)
DESVIACION (%)																	
DESVIACIÓN(%)	Consigna tª (°C)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	-	-	-
	Tª PCB	19,25	28,30	37,62	47,31	57,13	67,05	76,28	86,12	96,38	106,19	116,56	126,53	133,13	-	-	-
	Parada SAC Vbus máxima (V)	-1,70	-1,70	-1,60	-1,70	-1,55	-1,40	-1,10	-0,60	1,00	3,30	-	-	-	3,30	-1,70	5,00
	Rearranque tras Vbus máxima(V)	-1,84	-1,94	-1,73	-1,84	-2,04	-1,73	-1,53	-1,33	0,00	2,04	-	-	-	2,04	-2,04	4,08
	Parada SAC Vbus mínima (V)	0,29	0,57	0,14	-0,57	-0,57	0,00	0,29	-1,14	-3,14	5,14	-6,29	-8,00	-17,14	0,57	-17,14	17,71
	Rearranque tras Vbus mínima(V)	-0,53	-0,26	-0,53	-0,53	-0,53	-0,79	-1,32	-2,37	-2,63	-2,63	-2,63	2,63	53,63	53,63	-2,63	55,26
	Sincro red: frecuencia	-0,02	-0,16	0,02	0,02	-0,02	0,04	0,04	0,00	-0,04	-0,02	-0,04	-0,04	-0,08	0,04	-0,16	0,20
	Sincro red: amplitud	-0,91	-0,91	-2,13	-2,44	-2,44	-3,35	-4,27	-3,35	-4,57	-5,49	-4,27	-3,66	-3,66	-0,91	-5,49	4,57

Chop Mosfet: frecuencia*	1,48	1,85	1,48	2,22	-3,70	1,48	1,85	1,48	2,96	2,96	1,48	-2,96	-5,19	2,96	-5,19	8,15
Chop Mosfet: máxi (V)**	-2,00	-1,00	-2,00	0,00	2,00	2,00	2,00	4,00	4,00	6,00	6,00	6,00	4,00	6,00	-2,00	8,00
TEST OK/NO OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO OK	NO OK	NO OK	NO OK	NO OK	NO OK

Tabla 28. Ensayo funcional HSS tarjeta SAC II

*La variación de la frecuencia ha sido calculada teniendo en cuenta el valor mínimo de 135 kHz

** Dicho máximo de la tensión chopeada se compara con el máximo admisible, 50V.

En cuanto al consumo de corriente (medido desde la fuente de 24 V que alimenta la electrónica) se aprecia una tendencia descendente con el aumento de temperatura. Este comportamiento es esperable y se analizará con más detenimiento en el apartado 3 del presente documento. Cabe destacar que las diferentes tensiones generadas por la tarjeta han sido medidas durante el ensayo de monitorización continua, así como su comportamiento y rechazo frente a las variaciones en la tensión de alimentación.

Tanto la tensión como la frecuencia de la onda cuadrada de sincronización SYNCH se encuentran dentro de valores admisibles ($\pm 6\%$). La frecuencia se mantiene dentro del rango $-0,16\% - +0,04\%$, atribuible al error en la medida de dicho parámetro mediante el osciloscopio.

Tanto la frecuencia medida en la chopeada del Mosfet, como su máximo pico se encuentran fuera de las especificaciones en algún punto del ensayo. El máximo pico de tensión supera en 6 V al admisible, y la frecuencia llega a ser un 5,19% menor que la mínima. No obstante esto ocurre a partir de 106° y 116° respectivamente, temperaturas fuera del rango de funcionamiento del equipo. Cabe destacar la dificultad en la medida de ambas señales debido a la gran cantidad de ruido; se utilizó par trenzado y se filtró la señal mediante osciloscopio.

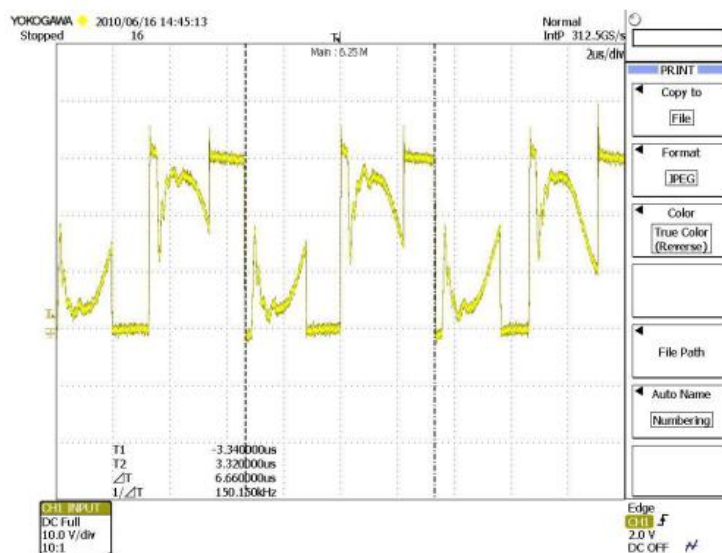


Imagen 50. Captura de la tensión “chopeada”

3.3.3.3.1.2. *Ensayo CSS*

Tarjeta :		Tarjeta SAC ensayo CSS						
Hora		9:45	10:10	10:40	11:00	11:25	12:0	12:50
Ambiente	Consigna temperatura (°C)	20	10	0	-10	-20	-30	-40
	Temperatura cámara (°C)	19,21	9,37	1,06	-9,88	-15,67	-24,52	-26,14
	Temperatura PCB (°C)	19,37	8,85	-0,96	-11,82	-21,06	-26,60	-28,71
Medidas	Alim J3 24 V: corriente(mA)	250	260	275	280	280	280	270
	Alim J3 19,5 V: corriente(mA)	310	314	320	340	340	340	340
	Alim J3 28 V: corriente(mA)	240	245	245	245	250	250	250
	Parada SAC Vbus máxima (V)	990	985	990	985	982	981	973
	Rearranque tras Vbus máxima (V)	967	965	965	963	963	960	960
	Parada SAC Vbus mínima (V)	348	348	349	347	348	348	344
	Rearranque tras Vbus mínima (V)	377	377	375	375	375	375	373
	Forma onda SAC	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	Paso generación SAC	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	Sincro red: frecuencia (Hz)	49,9	50,01	50,02	49,97	49,96	49,96	50,01
	Sincro red: amplitud (V)	3,25	3,25	3,21	3,20	3,20	3,17	3,14
	Sincro red: fase (rad)	En fase	En fase	En fase	En fase	En fase	En fase	En fase
	Chop. Mosfet: frecuencia (kHz)	137	137	138	138	137	138	138
	Chop. Mosfet: máximo (V)	49	49,5	49	50	51	51	51
	Arranque (ms)	0,194	0,194	0,174	0,190	0,205	0,174	0,179
TEST(OK/ NO OK)		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

Tabla 29. Ensayo funcional CSS tarjeta SAC I

A lo largo del ensayo se han realizado capturas de todos los arranques. Del mismo modo que en el ensayo HSS, se ha comprobado que en la entrada en funcionamiento de la SAC se sincronice correctamente con la tensión de red, gracias a la onda cuadrada de sincronización SYNCH. Es importante comprobar que el comienzo de generación de tensión se produzca en el paso por cero de la tensión de referencia. Estos parámetros han dado resultados satisfactorios en todas las pruebas, así como la calidad de la onda

generada por la SAC, cuyos valores han sido registrados en la monitorización continua, y en el apartado siguiente se analizarán con profundidad.

PWBLCK CSS PCB ABK 0017											
HORA		9:50	10:10	10:50	11:20	11:30	11:55	12:20	MAX (%)	MIN (%)	Δ (%)
DESVIACION (%)											
DESVIACIÓN(%)	Consigna tª (°C)	20	10	0	-10	-20	-30	-40	-	-	-
	Tª PCB	19,37	8,85	-0,96	-11,82	-21,06	-26,60	-28,71	-	-	-
	Parada SAC Vbus máxima (V)	-1,00	-1,50	-1,00	-1,50	-1,80	-1,90	-2,70	-1,00	-2,70	1,70
	Rearranque tras Vbus máxima(V)	-1,33	-1,53	-1,53	-1,73	-1,73	-2,04	-2,04	-1,33	-2,04	0,71
	Parada SAC Vbus mínima (V)	-0,57	-0,57	-0,29	-0,86	-0,57	-0,57	-1,71	-0,29	-1,71	1,43
	Rearranque tras Vbus mínima(V)	-0,79	-0,79	-1,32	-1,32	-1,32	-1,32	-1,84	-0,79	-1,84	1,05
	Sincro red: frecuencia	-0,20	0,02	0,04	-0,06	-0,08	-0,08	0,02	0,04	-0,20	0,24
	Sincro red: amplitud	-1,52	-1,52	-2,73	-3,03	-3,03	-3,94	-4,85	-1,52	-4,85	3,33
	Chop Mosfet: frecuencia*	1,48	1,48	2,22	2,22	1,48	2,22	2,22	2,22	1,48	0,74
	Chop Mosfet: máx**	-1,00	-0,50	-1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-1,00	1,00
	TEST OK/NO OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

Tabla 30. Ensayo funcional CSS tarjeta SAC II

*La variación de la frecuencia ha sido calculada teniendo en cuenta el valor mínimo de 135 kHz

** Dicho máximo de la tensión chopeada se compara con el máximo admisible, 50V.



Figura 5. Captura de osciloscopio del arranque de la SAC durante HSS (80°C). Se pueden apreciar la onda cuadrada SNC (verde), la tensión de red (turquesa) y la salida J2 (amarillo).

3.3.3.3.2. Resultados monitorización continua

3.3.3.3.2.1. Ensayo HSS

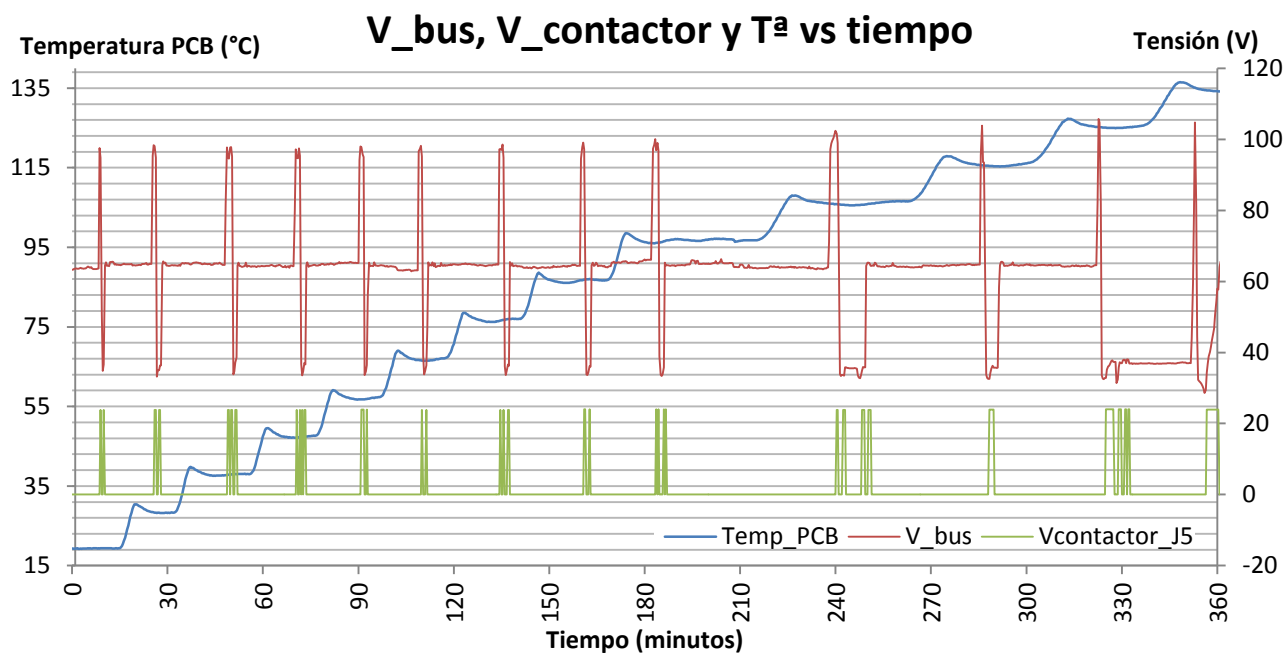
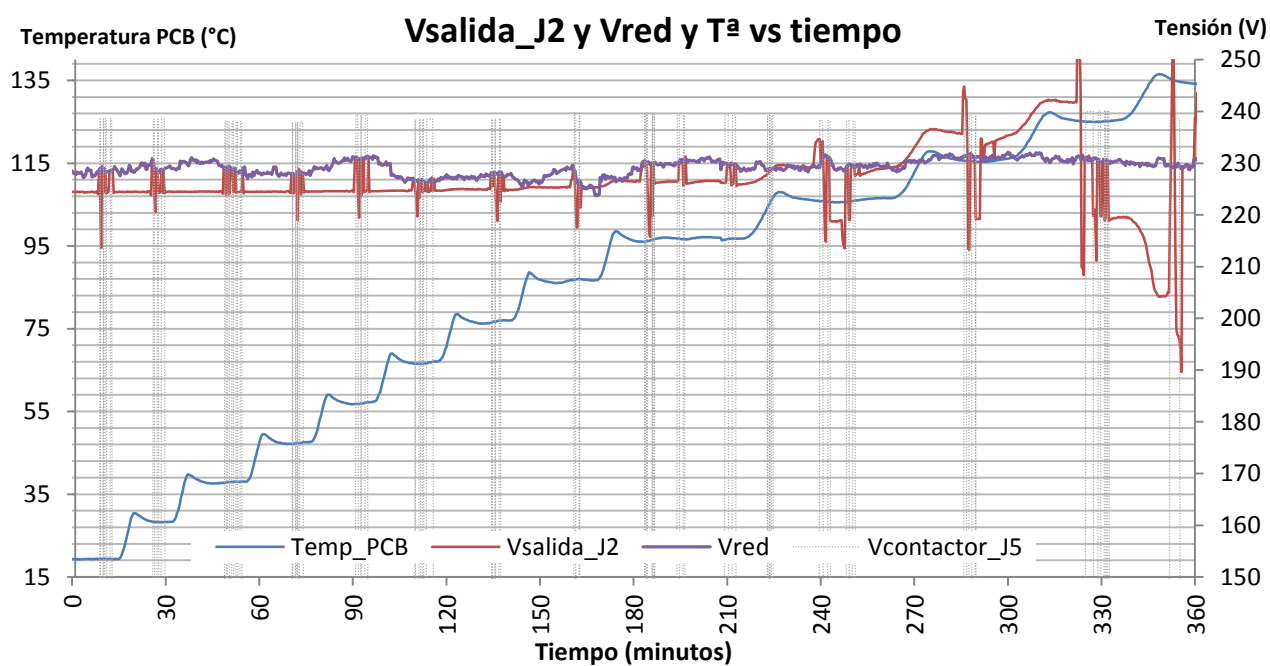
Se parte de 20 °C y se va incrementando la temperatura en intervalos de 10°C hasta los 140°C de consigna de la cámara climática (en realidad no llega a alcanzarlos):

Tarjeta SAC ensayo HSS				
		Max	Min	Δ Error
Medidas	P15	16,06	15,91	0,15
	P5	5,02	4,04	0,98
	P3V3	3,46	3,26	0,20
	VR11	19,46	17,89	1,57
	Vsalida_J2	256,40	189,64	66,76
	Vred-Vsalida	39,69	-26,94	66,63
TEST(OK/ NO OK)		-	-	-

Tabla 31. Ensayo monitorización HSS tarjeta SAC

Se observa una variación considerable en la tensión Vsalida_J2 y en Vred-Vsalida, la cual se analiza en el siguiente apartado. El resto de parámetros se mantienen dentro de los márgenes de funcionamiento.

En el apartado 3.1 del Anexo I se muestran las gráficas de este ensayo

Gráfica 19. T. SAC HSS: V_{bus}, V_{contactor} y T^aPCB y P5 vs tiempoGráfica 20. T. SAC HSS: V_{salida_J2}, V_{red} y T^aPCB vs tiempo

3.3.3.3.2.2. Ensayo CSS

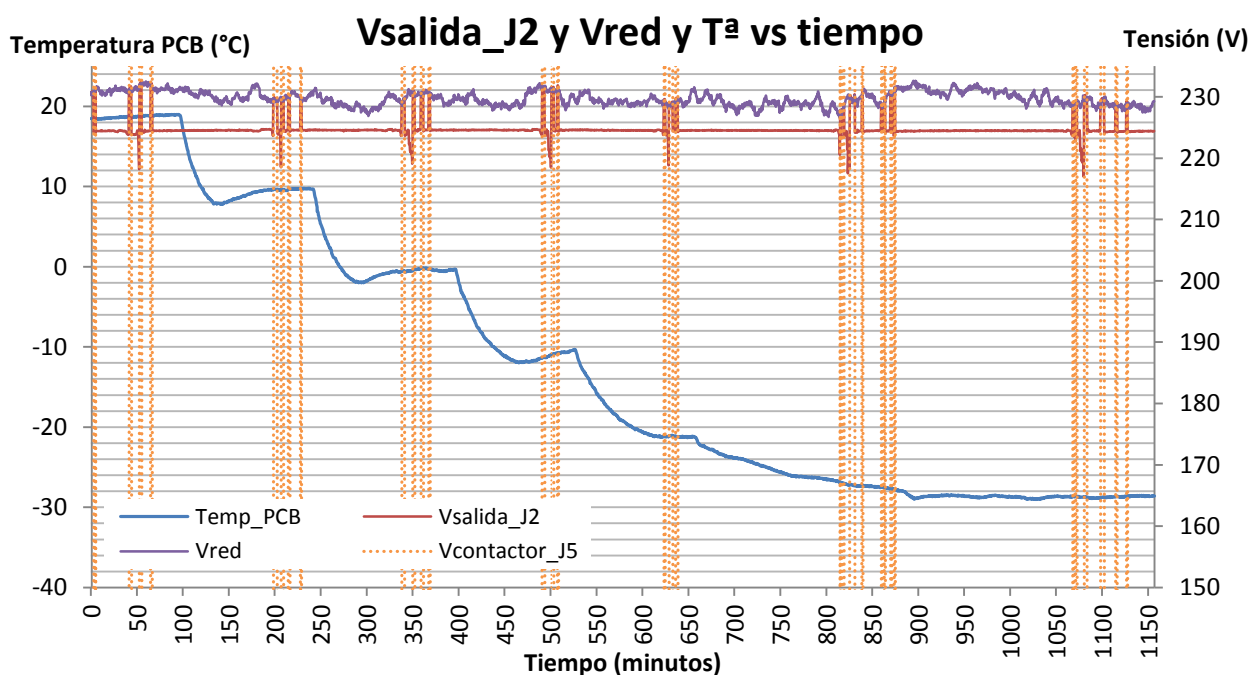
A modo de resumen la tabla con los valores máximos, mínimos y el error en las medidas del ensayo CSS:

Tarjeta SAC ensayo CSS				
		Max	Min	Δ Error
Medidas	P15	16,10	16,05	0,05
	P5	5,03	5,01	0,02
	P3V3	3,27	3,26	0,01
	VR11	17,90	17,19	0,71
	Vsalida_J2	232,42	216,98	15,44
	Vred-Vsalida	13,69	-0,83	14,52
TEST(OK/ NO OK)		-	-	-

Tabla 32. Ensayo monitorización CSS tarjeta SAC

Las variaciones en Vsalida_J2 se producen en las conmutaciones del contactor en J5, si se analiza la variación debida únicamente a la temperatura, dicha variación es menor al 0,5%, cumpliendo con creces las expectativas de diseño

En el apartado 3.2 del Anexo I se muestran todas las gráficas de este ensayo



Gráfica 21. T. SAC CSS: Vsalida_J2 y V_red vs tiempo

3.3.3.3. Análisis de resultados

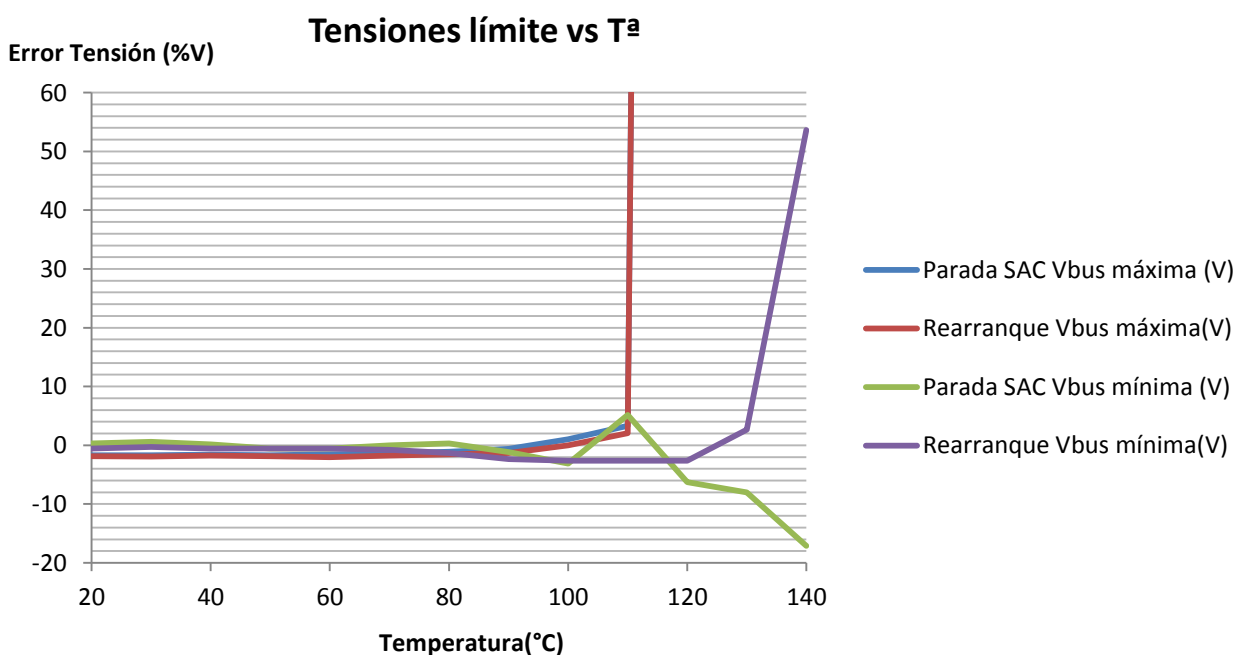
Fallo tensión máxima Vbus

A partir de los 116° se observó una falta en la parada de generación de la SAC por tensión de bus máxima. Esto no quiere decir que el sistema no se detenga ante una tensión de bus elevada, ya que durante la prueba se ensayó hasta el máximo que la fuente DC es capaz de proporcionar (1062 V). Como consecuencia de esto, tampoco reanuda el convertidor al disminuir la tensión hasta 980 aproximadamente. Adicionalmente, la parada por tensión de bus baja a partir de esta temperatura se ha visto disminuida en más de 20 V, estando la tensión en el último punto del ensayo 60 V por debajo de esta.

Cabe destacar que tras llegar al límite de la cámara climática y tras llevar la temperatura de la PCB a 133,13 °C, se procedió a descender la temperatura hasta una en la que no se acusó falta; 90°C. Se comprobó que la tarjeta se recuperaba, y que volvía a funcionar correctamente. Se procedió a ascender la temperatura de nuevo y se volvió a detectar el fallo a la misma temperatura. Se comprueba que no se causó daño permanente en el dispositivo; se localizó límite operativo.

Teniendo en cuenta el funcionamiento de esta tarjeta dentro del conjunto Monoblock, la falta encontrada es importante debido a que un incorrecto funcionamiento en la desconexión de la SAC al tener sobretensiones en el bus puede dañar de forma permanente la propia tarjeta. Analizando detalladamente la información proporcionada por los fabricantes de los componentes se observa que la tensión máxima colector – emisor que soportan los IGBT del inversores de 1200 V. En la falta analizada, la tensión de bus de parada de la SAC podría ser mayor que los 1200 V (el límite de la fuente es de 1062 V) y, como consecuencia, dañar permanente los transistores. Por otro lado una tensión de bus menor a 325 Vdc provocaría un recorte en la senoidal generada por el inversor, provocando una disminución en el valor rms así como el aumento en nivel de armónicos que provoca mayores pérdidas entre otros. A partir de 130°C esta tensión está por debajo de este límite y por tanto se podría establecer un límite operativo superior, pero como se detalla más adelante, se localiza este límite a una temperatura menor.

A continuación se analiza el motivo por el cual se produjo dicha falta:



Gráfica 22. Errores en tensiones parada/rearranque vs temperatura

Observando la información del fabricante del DSP se aprecia que en ambos ensayos se funcionando dentro límites máximos de temperatura del mismo; temperaturas por encima de los límites dados pueden provocar daño permanente en el dispositivo. No obstante y por ello, se investigará el comportamiento de la captación con la temperatura. Además se comprueban los límites térmicos del operacional (máxima operación 125°C) U2 de la captación y sus características frente a variaciones de temperatura.

Ante esta falta se tienen dos posibles fuentes de error; el circuito de acondicionamiento de la tensión de bus y la lectura de dicha tensión escalada por parte del DSP. Para ello se plantean dos ensayos:

- **Ensayo 1:** manteniendo una tensión de bus constante y conocida, se monitorizarán las tensiones en ambas entradas del amplificador mientras se varía la temperatura. De esta manera se podrá averiguar qué niveles de tensión se manejan, si el operacional está funcionando incorrectamente dando una salida que no se ajuste a su entrada o si las propias resistencias han visto modificado su valor de tal manera que el circuito y su escalado posee nuevos valores.

Se medirá en los siguientes puntos:

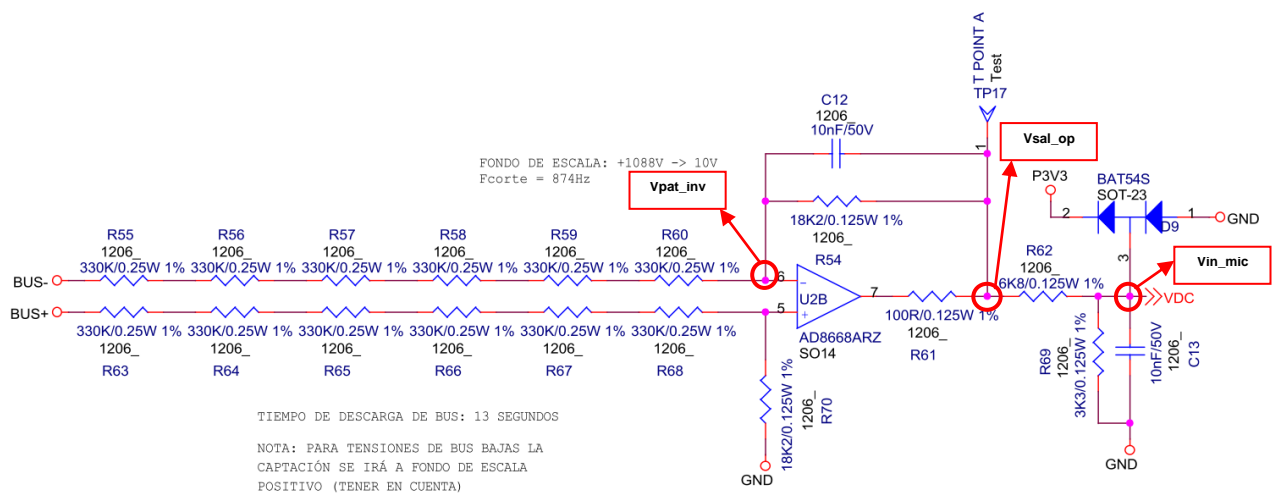
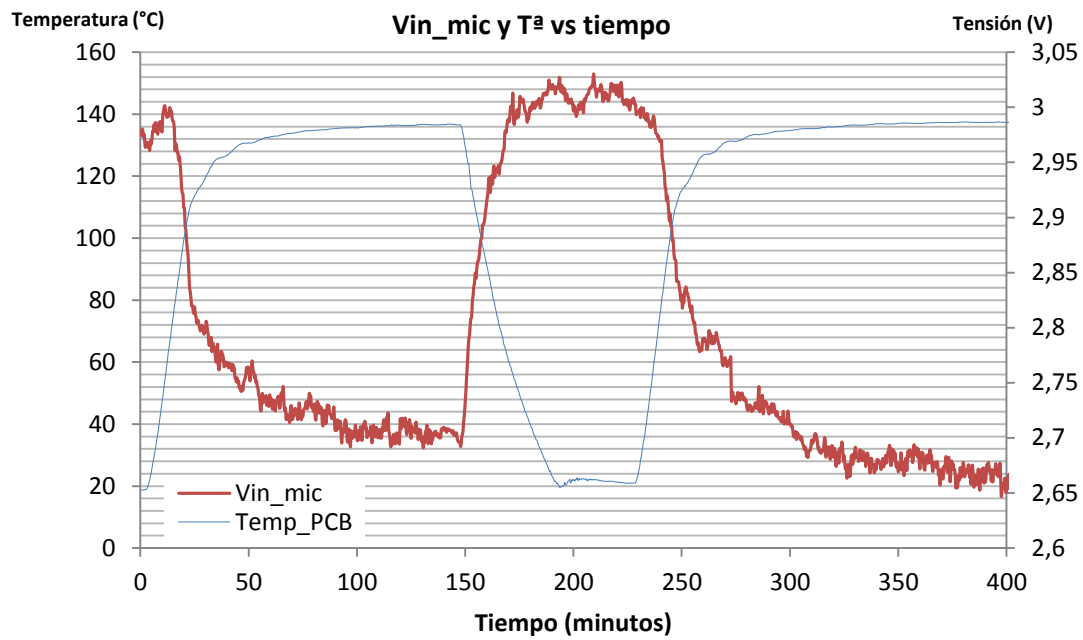


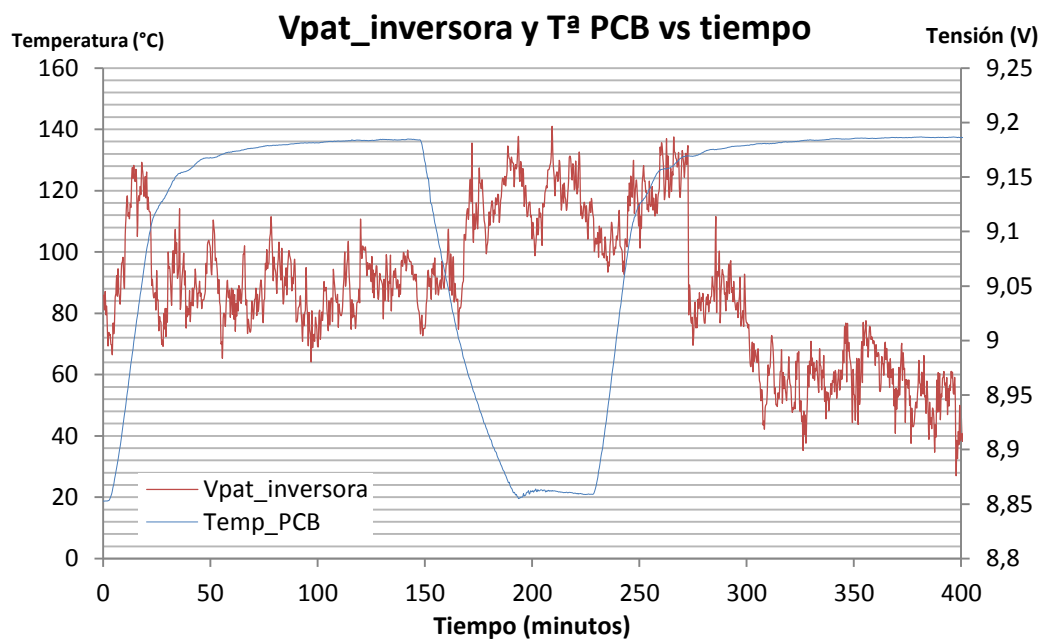
Imagen 51. Circuito captación tensión de bus tarjeta SAC [11]

Como se muestra en la imagen superior, se añade en este nuevo ensayo la monitorización de puntos clave en el circuito de captación. La tensión de bus se mantiene constante y de valor 1000V.

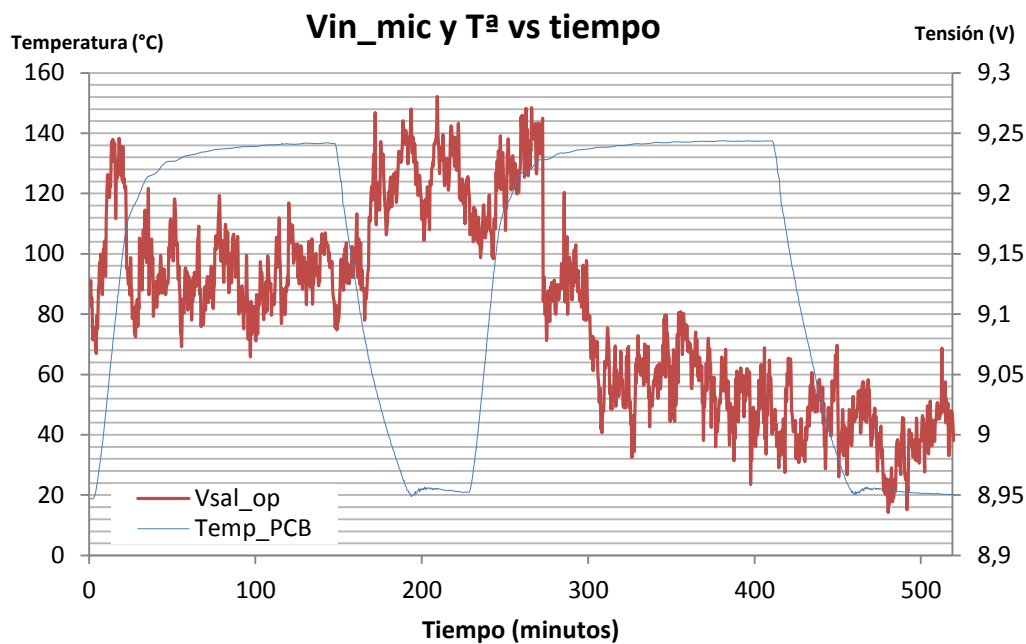
En las siguientes gráficas se muestran los datos registrados a lo largo del ensayo, en el cual se incrementó la temperatura de 20° hasta 140° (temperaturas de referencia ensayo). Se repitió dos veces la prueba.



Gráfica 23. T. SAC: Vin_mic y Tª vs tiempo



Gráfica 24. T. SAC: Vpat_inversora y Tª vs tiempo



Gráfica 25. T. SAC: Vin_mic y Tª vs tiempo

De estas lecturas se extrae la siguiente información:

Señales	MAX	MIN	Δ ABS	Δ %
Vin_mic	3,03	2,65	0,38	12,66
Vpat_inversora	9,20	8,85	0,34	3,72
Vsal_op	9,28	8,94	0,34	3,72

Tabla 33. Resultados ensayos medida captación bus ensayo I

Como la tensión de bus es constante e igual a $1000V \pm 3V$, analizando el circuito:

Teniendo en cuenta el que $3 \pm 0,018V$ es el valor ideal para una lectura a $1000V$, se observa que a temperatura ambiente la temperatura es cercana a este valor ($2,98V$) y se encuentra muy próximo al margen de error de la tensión. Sin embargo, al incrementarse la temperatura (manteniéndose la tensión de bus constante) se observa que el valor de Vin_mic disminuye hasta $2,65$. Esta disminución crea una falsa lectura en el micro, ya que a pesar de tener una tensión de bus de $1000V \pm 3V$, la tensión de $2,65$ se corresponde a una tensión de bus de $882V$. Por tanto, es de esperar que la parada por tensión de alta no se produjese.

Teniendo en cuenta la variación de la tensión de entrada al convertor analógico digital con la temperatura, se calcula la tensión que haría saltar la alarma de parada por sobretensión en el caso más desfavorable ($130^{\circ}C$): sería de $1126V$. Si se aplica a la salida, significaría que el ADC leerá tensión de $1000V$ (tensión de parada y equivalente a Vin_mic de $3,3$) cuando en realidad se tendrían teóricamente $1126V$. Este desfase de $126V$ podría ser problemático debido a que se tendrían tensiones peligrosas que el sistema sería incapaz de detectar y no se procedería al consecuente apagado del inversor. Otro problema inherente es el límite en la tensión que soportan los IGBTs, que es de $1200V$, y esto provocaría acercarse a la misma. Se compara el resultado obtenido con los cálculos teóricos. Teniendo en cuenta tolerancias de las resistencias:

$$\begin{aligned}
 R_{330k}(1\%) &= 330 \pm 3,3k\Omega \\
 R_{18k2}(1\%) &= 18,2 \pm 0,182k\Omega \\
 R_{6k8}(1\%) &= 6,8 \pm 0,068k\Omega \\
 R_{3k3}(1\%) &= 3,3 \pm 0,033k\Omega
 \end{aligned}$$

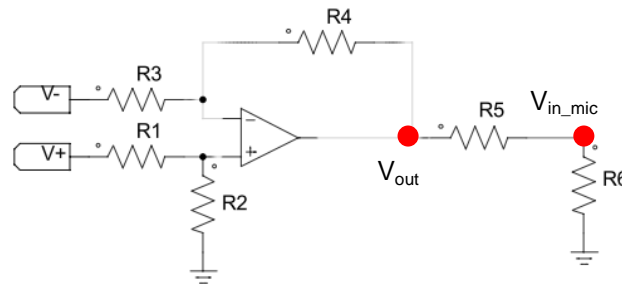
Para una variación de temperatura de $110^{\circ}C$ se tendrá como máximo:

$$R_{330k} = (330 \pm 3,3k\Omega) + 100ppm * \Delta T = (330,293 - 336,966)k\Omega$$

$$R_{18k2} = (18,2 \pm 0,182 \text{ k}\Omega) + 100\text{ppm} * \Delta T = (18,216 - 18,584)\text{k}\Omega$$

$$R_{6k8} = (6,8 \pm 0,068 \text{ k}\Omega) + 100\text{ppm} * \Delta T = (6,806 - 6,943)\text{k}\Omega$$

$$R_{330k} = (3,3 \pm 0,033 \text{ k}\Omega) + 100\text{ppm} * \Delta T = (3,302 - 3,369)\text{k}\Omega$$

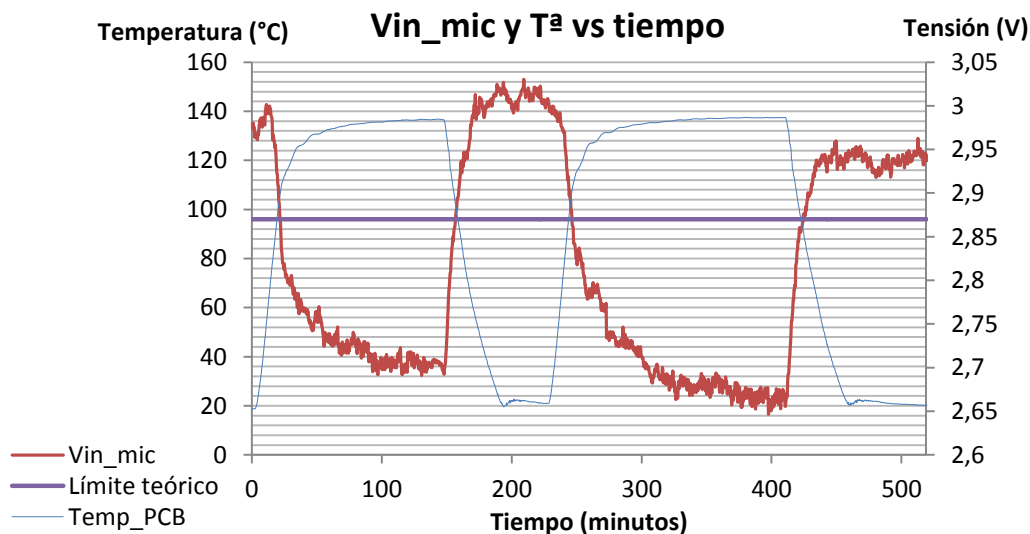


Se realiza el cálculo:

$$V_{out} = V_{+} * \frac{R2}{R1 + R2} + \frac{R4}{R3} * \frac{R2}{R1 + R2}$$

$$V_{in_mic} = V_{out} * \frac{R6}{R5 + R6}$$

Teniendo en cuenta las tolerancias y las variaciones frente a la temperatura, se realizan diversos cálculos para ver cómo afecta a V_{in_mic} . En el caso más desfavorable dentro de las especificaciones de tolerancia y variación frente a temperatura se podría tener una lectura de 2,87 V en V_{in_mic} .



Gráfica 26. T. SAC: V_{in_mic} (límite teórico) y T^a vs tiempo

Como se aprecia en la gráfica, el límite teórico calculado anteriormente se rebasa a partir de una temperatura cercana a los 110°C. A partir de ese momento V_{in_mic} desciende hasta llegar a un mínimo de unos 2,65 V (se ha mantenido constante la tensión de bus en todo momento del ensayo).

Por tanto los resultados calculados concuerdan con estos cálculos teóricos hasta temperaturas de 110°C, ya que se ha asumido el correcto desempeño del operacional y probablemente debido a la elevada temperatura presente un error en su funcionamiento. A partir de esta se tienen mayor variación de la que se esperaba pero se debe tener en cuenta que esta temperatura es prácticamente el doble de la máxima admitida por el equipo *Monoblock*; por tanto se concluye que esta desviación no supondrá un problema

para el funcionamiento del equipo. Nótese que la lectura no se desvía en más de $\pm 5\%$ desde los 20°C hasta los 90°C aproximadamente.

Adicionalmente se realizan los cálculos y se obtiene que para una tensión de bus de 350 V se puede esperar una tensión de salida de hasta 1 V , lo cual corresponde a una lectura del ADC de 330 Vdc . De manera similar al caso de parada por tensión alta se observa que a partir de 110°C la parada se produce a una tensión menor a 330°C .

Teniendo en cuenta estos resultados, se puede concluir que la tensión de entrada al ADC del microcontrolador ve afectada significativamente por la temperatura y que dentro del rango térmico nominal del equipo este comportamiento es esperable.

- **Ensayo 2:** se introducirá directamente una señal conocida en el pin 11 del STM32F103 (fondo de escala 3.3 V) y se realizará una monitorización en tiempo real de las captaciones y variables que maneja mediante el software *IAR Embedded Workbench*. Se variará la temperatura y se observará el comportamiento de dichas lecturas.

La prueba fue realizada con un montaje similar al del resto del ensayo, pero para aislar completamente la entrada del CAD del micro, se desoldaron diversos componentes (como R62, D9 etc). Desde el punto denotado con VDC, se introdujo una tensión constante a través de una resistencia, tal como se muestra en el siguiente diagrama:

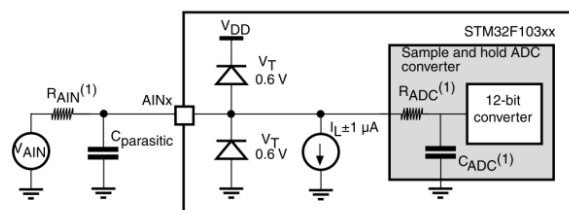


Imagen 52. Circuito captación ADC STM32F.
Fuente: ST Microelectronics [18]

Para el ensayo, se utilizó una fuente de tensión HQ Power PS613 y se mantuvo la tensión constante y de valor $2,6 \pm 0,01\text{ V}$. Las lecturas del dsp han sido registradas en la siguiente tabla.

Temp	Lec ADC2 Vbus	Vbus_real	LecADC1_Vac
-30	3138	839	2035
-20	3136	838	2036
-10	3120	835,5	2036
0	3109	835	2036
10	3111	833,5	2037,5
20	3109	831	2037,5
30	3109	830,5	2039
40	3115	831	2040
50	3112	832	2039,5
60	3112	833	2039
70	3111	833	2039,5
80	3111	834	2040
90	3114	835	2040

100	3113	834,5	2040
110	3116	833	2040
120	3105	822	2016
130	3100	818	1968

Tabla 34. Lecturas ADC tarjeta SAC ensayo II

De los datos recopilados en la tabla anterior se observa una variación de un 2,5% de la medida V_{bus} real entre la menor y la mayor temperatura. Esto pone de manifiesto el efecto de la temperatura en la lectura del ADC, pero este efecto es menor que en el caso del anterior ensayo, en el que se observó una variación del 12,66% en la tensión de entrada al ADC con la temperatura. Además en el rango $-20^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C}$ dicha variación es del 0,72%, valor de error asumible para el correcto funcionamiento de la SAC.

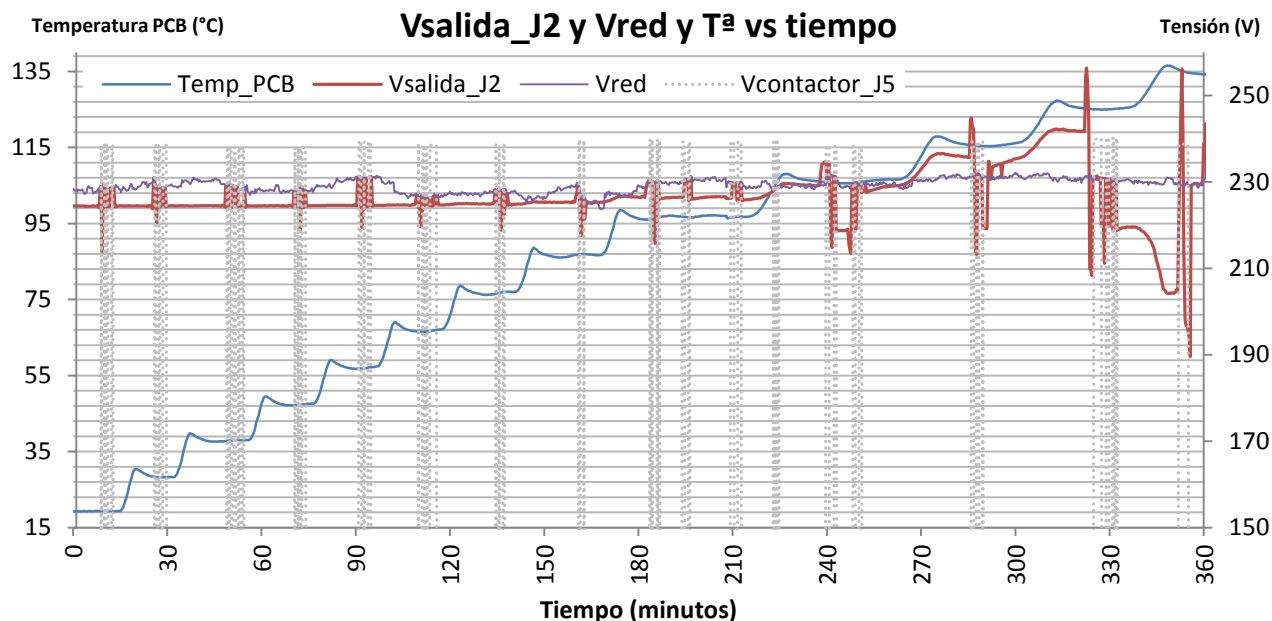
Se concluye que ambos efectos han contribuido a la falta encontrada durante el ensayo HALT, siendo el más significativo la variación de la salida del circuito de captación. Se observa además que ambos efectos favorecen la falta encontrada, es decir, se observa que al aumentar la temperatura la lectura de la tensión disminuye. Por tanto, se podrían tener tensiones muy elevadas y peligrosas para la integridad del equipo y esta tarjeta sería incapaz de detectarlas y consecuentemente detener el funcionamiento del inversor; se establece de esta manera el límite operativo superior. No obstante esta falta se produce a temperaturas muy superiores a la de funcionamiento del equipo (máximo 60° temperatura ambiente), por tanto se puede afirmar que la tarjeta se ajusta a las necesidades de diseño.

Chopeada Mosfet

El máximo pico en la chopeada del Mosfet de la fuente DC/DC fuera de las especificaciones en algún punto del ensayo. El máximo pico de tensión supera en 3 V al admisible, y la frecuencia llega a ser un 5,19% menor que la mínima para temperaturas superiores a 120°C respectivamente, temperaturas fuera del rango de funcionamiento del equipo; se localiza un posible límite funcional. Tras la localización del fallo en la tensión de bus, este último se produce a una temperatura más baja y por tanto se establece como límite operativo. Cabe destacar la dificultad en la medida de ambas señales debido a la gran cantidad de ruido; se utilizó par trenzado y se filtró la señal mediante osciloscopio.

Variación V_{salida_J2}

Se observa que a lo largo del ensayo HSS se produce una variación considerable en la tensión de salida a partir de los 115° . Dicha tensión alterna aumenta hasta 242 V (valor rms) cuando se alcanzan 125° . A partir del último aumento de temperatura, en el que se asciende desde 125° hasta 134° se aprecia una disminución en la tensión, llegando hasta 204 V (valor rms), seguido de una brusca subida y bajada.



Gráfica 27. T. SAC HSS: Vsalida_J2, Vred y Tª vs tiempo

Este deterioro en su funcionamiento comienza a darse hacia los 115°C pero su comportamiento es más acusado en la última etapa del ensayo (subida a 135°C). La mayoría de componentes tienen una temperatura recomendada de funcionamiento no superior a 85°C, por tanto es esperable este deterioro y se encuentra fuera de los márgenes de diseño del equipo.

Además fuente actúa en lazo abierto, por lo que no se tiene *feedback* de la salida: si la entrada por las variaciones en los componentes como resistencias, no existe ningún control que lo compense. Además la bobina aumentará su resistencia al aumentar la temperatura, así como la caída de tensión en los IGBTs, por lo que es de esperar que se tenga menor tensión a la salida.

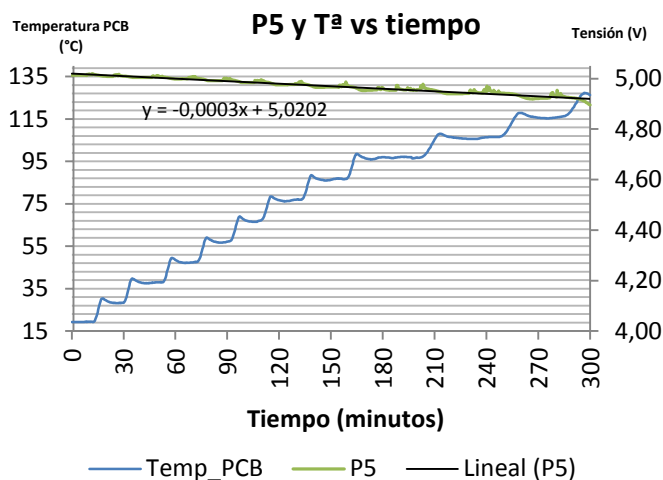
Recordemos que la función de esta tensión es la de mantener energizada la bobina del contactor AC de salida y este descenso de tensión podría ocasionar la desenergización y conmutación de la misma. Tras consultar la información del fabricante se comprueba que los límites de tensión rms son 100V – 250V. Como se observa al tener 204 V no se producirán problemas en el contactor, ni tampoco al tener 240V. Debido a ello no se tiene límite operativo y tampoco se localizó límite destructivo.

Comentarios aumento-descenso corriente

Durante el ensayo funcional, se han medido valores de corriente de la fuente que alimenta la electrónica de la tarjeta, a fin de estudiar la variación del consumo con la temperatura. Se ha observado:

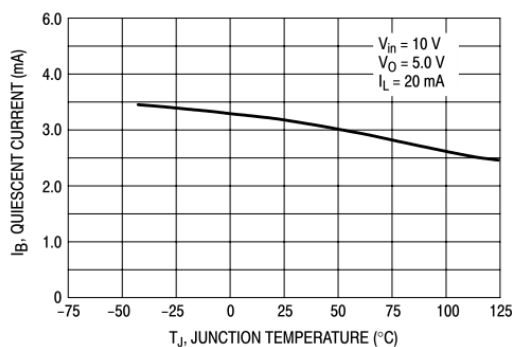
- Durante el ensayo HSS se apreció un descenso de hasta un 16% del consumo respecto a condiciones nominales (20°C). Dicho descenso acusa un comportamiento inversamente proporcional al aumento en la temperatura.
- A lo largo del ensayo CSS se aprecia un aumento en el consumo al descender la temperatura, llegando a un 8% respecto a la nominal. Este aumento de corriente no debería suponer un problema ya que la fuente de 24 V dentro del equipo tiene 200W. Esta fuente es capaz de entregar una corriente máxima de 8,3 A y en este montaje se encuentra muy por debajo de esta corriente. Sin embargo se debe tener en cuenta que dicha fuente no sólo alimenta esta tarjeta y será necesario consultar el sobredimensionamiento.

Tras analizar los componentes que conforman la tarjeta objeto de estudio, se observa una tendencia generalizada a la disminución de corriente consumida al aumentar la temperatura. A continuación se muestra un pequeño análisis cualitativo que pretende explicar este comportamiento.



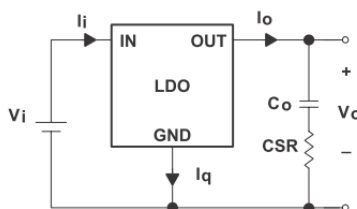
Gráfica 28. T. SAC: P5 y Tª vs tiempo

La tensión de salida del regulador desciende con la temperatura. Como se observa en la siguiente tabla, el comportamiento de la corriente IB (quiescent current) será inversamente proporcional a la temperatura.

Gráfica 29. Quiescent current vs junction temperature en MC7805.
Fuente: ON Semiconductor [19]

Si se tiene en cuenta que dicha corriente Iq (quiescent current) es la diferencia entre las corrientes de entrada y de salida se podrá analizar esta ecuación:

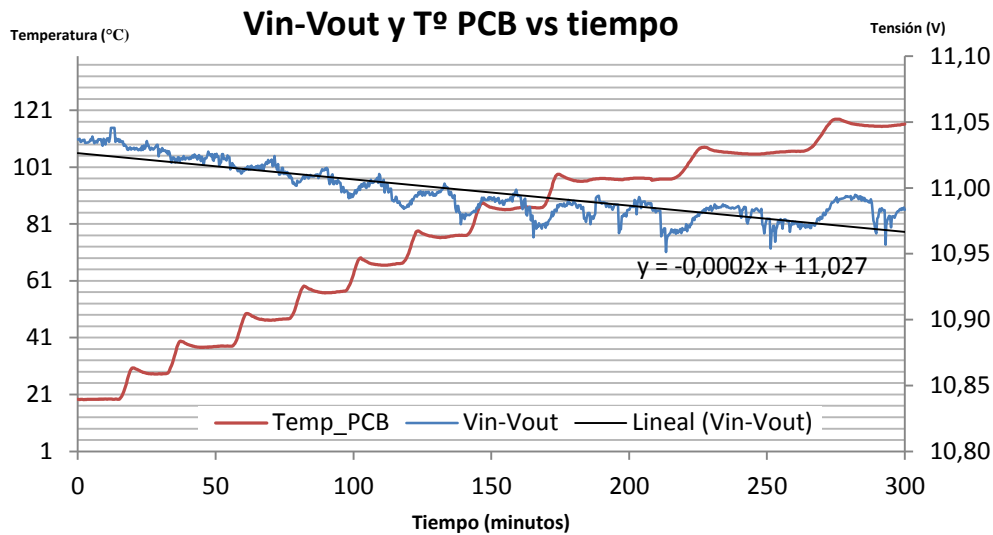
$$Iq = Ii - Io$$



Gráfica 30. Quiescent current en un LDO

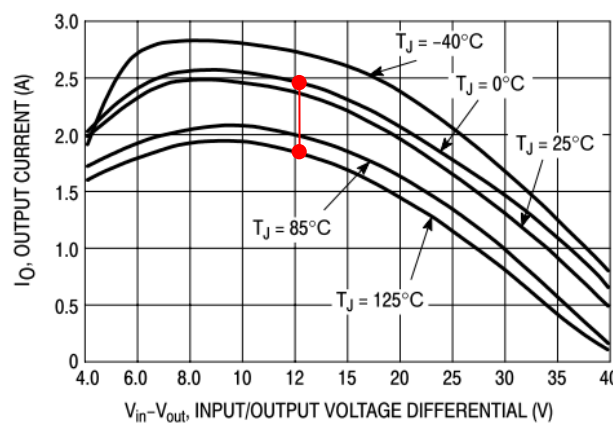
Fuente: "Understanding the terms and definitions of LDO Voltage Regulators", Texas Instruments [20]

Para el ensayo HSS se tiene un descenso en la corriente Iq y como un descenso en la tensión de salida, como muestra la característica dada por el fabricante y los resultados de los ensayos respectivamente. Estudiando para este regulador la diferencia entre la tensión de entrada y salida (15 y 5V) a lo largo de temperatura, se obtiene la siguiente característica:



Gráfica 31. T. SAC HSS: Vin-Vout y Tª PCB vs tiempo

Por tanto, volviendo a la gráfica dada por el fabricante, al ir aumentando la temperatura y también la diferencia entre tensiones de entrada y salida el punto de trabajo se desplazaría como se muestra a continuación:



Gráfica 32. Output current vs Input/Output voltaje diferencial en MC7805.
Fuente: ON Semiconductor [19]

Con lo que se concluye que la corriente de salida decrementa su valor a lo largo del ensayo HSS. De este modo, si se tiene un descenso en la corriente I_q (quiescent current) y la corriente de salida lo disminuye, también lo tendrá que hacer la corriente de entrada I_i según la ecuación:

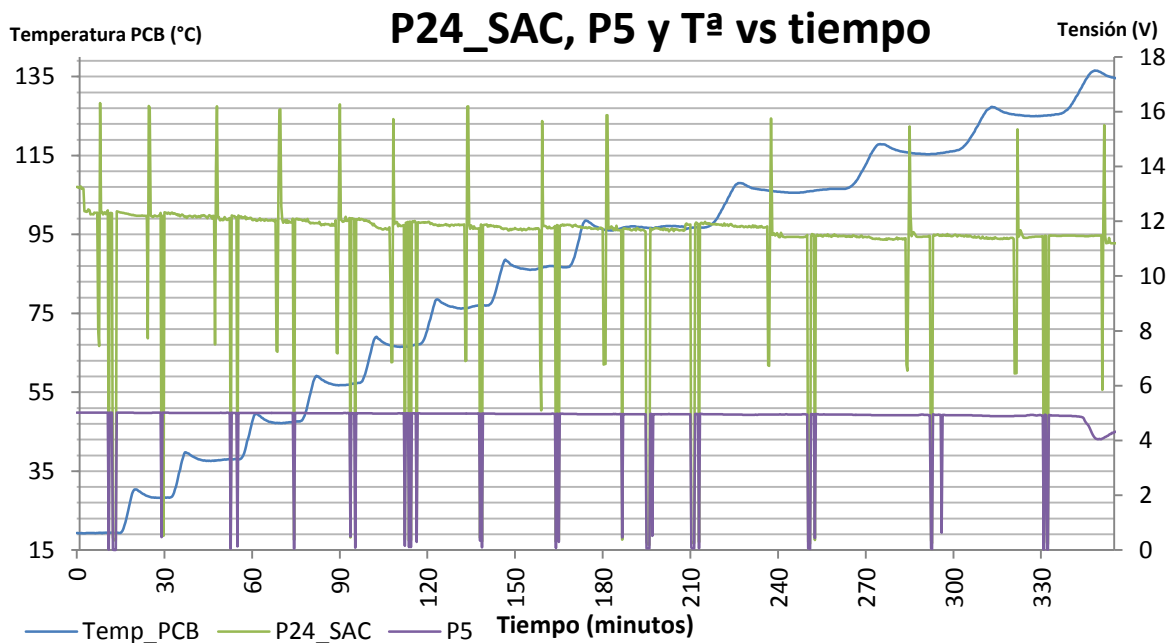
$$I_q = I_i - I_o$$

Un análisis similar se realiza para el ensayo CSS y se comprueba que la corriente de salida aumenta su valor al disminuir la temperatura.

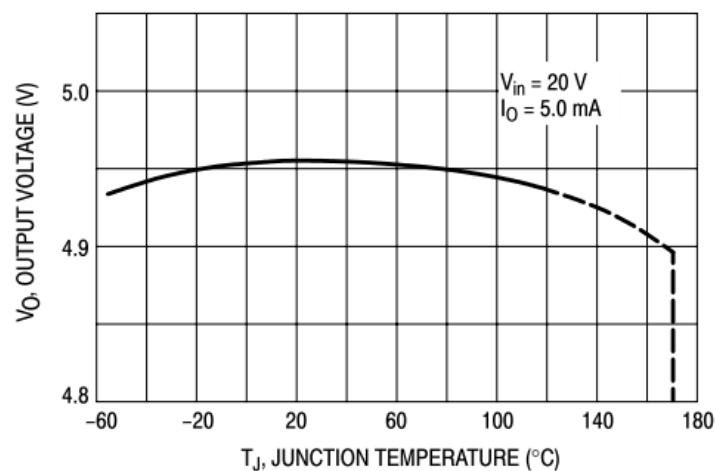
Según el análisis para este componente verifica que el comportamiento acusado durante las pruebas es el esperado. Sería necesario analizar individualmente cada integrado para cuantificar este fenómeno.

Comportamiento inusual tensión 5V y 3V3

Tras analizar las tensiones entregadas por ambos reguladores a lo largo del ensayo de monitorización continua se observa el siguiente comportamiento:



Gráfica 33. T. SAC HSS: P24_SAC, P5 y Tª vs tiempo



Gráfica 34. Característica Tensión Salida – Temperatura unión del regulador MC7805
Fuente: ON Semiconductor [19]

Como se puede observar las lecturas obtenidas acusan un comportamiento similar al facilitado por el fabricante; descenso de la tensión de salida con la temperatura: ignorando la irregularidad señalada con rojo en la anterior gráfica se tiene un descenso desde 5,013 V hasta 4,899 V para una variación de temperatura desde 20° C hasta 125°C. Este descenso es aceptable dentro de los márgenes de funcionamiento normales del equipo.

Sin embargo, al aumentar la temperatura desde 125°C hasta los 134°C se acusa un descenso significativo de hasta un 20% respecto a la tensión nominal, llegando a los 4,05 V. Esta tensión es insuficiente según los límites establecidos en las pruebas de producción. Se analiza este caso:

- Alimentación de los drivers de los IGBT: el fabricante da unos valores en su manual entre los cuales asegura que el integrado funcionará según las especificaciones. Se establece que para la alimentación Vcc 1 dicho rango alimentación es 4,5 V - 5,5 V. La tensión durante la falta es inferior a 4,5V, por tanto es de esperar un mal funcionamiento. Sin embargo esta temperatura se encuentra por debajo de los límites térmicos ambientales del equipo *Monoblock*; límite operativo ya ha quedado establecido previamente.

- Magnetización relé salida digital: un descenso de la tensión P5, puede provocar un descenso en la corriente de magnetización de los relés del contacto libre de potencial o de la salida digital de conmutación entre red y generada.

Adicionalmente, al aumentar la temperatura la resistencia fuente - drenador del transistor aumenta, ejerciendo una mayor resistencia al paso de corriente, y reduciendo aún más el valor de la misma [26].

Esto podría ser problemático debido a que, si disminuye la corriente y por tanto el campo magnético B disminuye, pudiendo llegar a ser insuficiente para energizar el electroimán del relé. Según la ley de Ampere:

$$B = \frac{\mu * I}{2 * \pi * r}$$

Siendo:

- μ : permeabilidad magnética en T*m/A
- I: corriente a través de la bobina en A
- R: distancia desde conductor hasta punto estudiado en metros

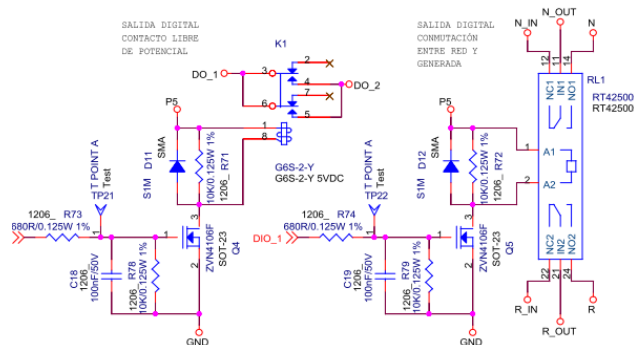


Imagen 53. Circuito salida contactor SAC [11]

Sin embargo, se aprecia que dicha irregularidad se produce cuando se excede la temperatura máxima de unión que tolera el componente. Tras descenso de temperatura posterior se comprueba que no se ha producido daño permanente en el componente. Este punto sería un posible límite operativo, pero previamente a este se localiza el fallo en la captación de tensión descrito anteriormente.

Tensión R 11

La tensión en R11 está relacionada con la carga y descarga del condensador C5. Desde R_IN, que es la tensión de red, se recorta mediante el diodo D3, de modo que dicho condensador sólo recibe la parte positiva de la misma.

Si el valor de la capacidad de C5 se viese modificado, la tensión media que se tiene en R_11 también variaría su valor. Para calcular su valor:

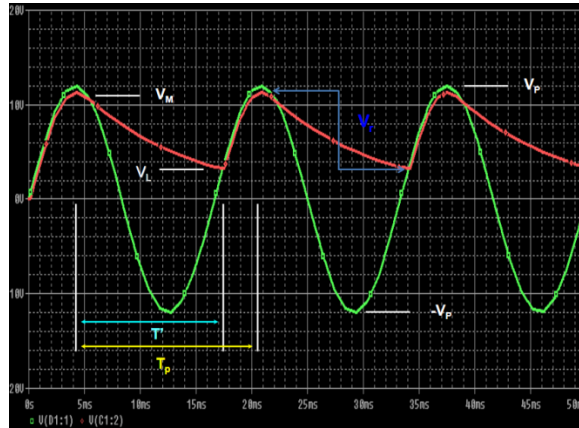


Imagen 54. Carga/descarga condensador.

En rojo se aprecia tensión entre terminales condensador y en verde la tensión de entrada

$$Vr = Vm - Vl$$

Vr : tensión de rizado (V)

Utilizando la ecuación de descarga de un condensador, se puede escribir:

$$Vr = Vm - Vl = Vm - Vm * e^{\left(\frac{-T'}{R*C}\right)}$$

En la anterior ecuación se observa la relación del valor de capacidad con el del voltaje de rizado. Aumentos en dicho parámetro provocarán valores de Vr menores, mientras que su disminución aumentará el rizado. Con valores de rizado menores se obtendrá una tensión media también menor. En definitiva, cuanto menor sea la capacidad, menor será la constante de tiempo $R*C$ y más rápida será la carga y descarga del condensador.

De la ecuación anterior se puede aproximar:

$$Vr = Vm \frac{T'}{R * C} = Vm \frac{Tp'}{R * C} = \frac{Vm}{f * R * C}$$

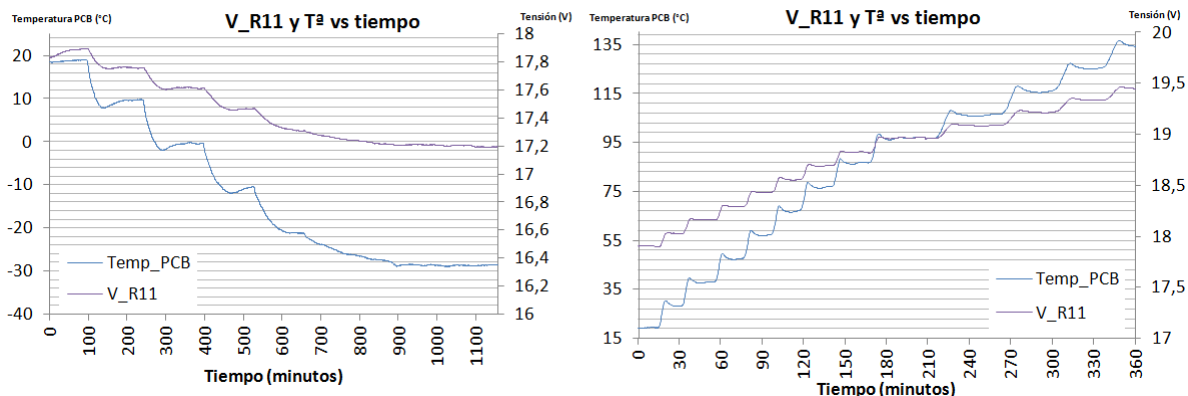
Dando valores para el circuito ensayado:

$$\frac{24,5}{50 * 36k * 47u} = 0,29$$

$$\frac{24,5}{50 * 36k * 32,9u} = 0,41$$

$$\frac{24,5}{50 * 36k * 61,1u} = 0,22$$

Se observa que con una variación de -30% en el valor de la capacidad (máxima variación según fabricante entre -55°C y 105°C), se aumenta el rizado en un 40%, lo cual disminuirá el valor de tensión eficaz que se almacena en el condensador. No se conoce el valor de capacidad a lo largo del ensayo, pero este análisis sirve para explicar su efecto en la tensión monitorizada.



Gráfica 35. Evolución V_R11 en ensayos HSS y CSS tarjeta SAC

3.3.3.4. Conclusiones

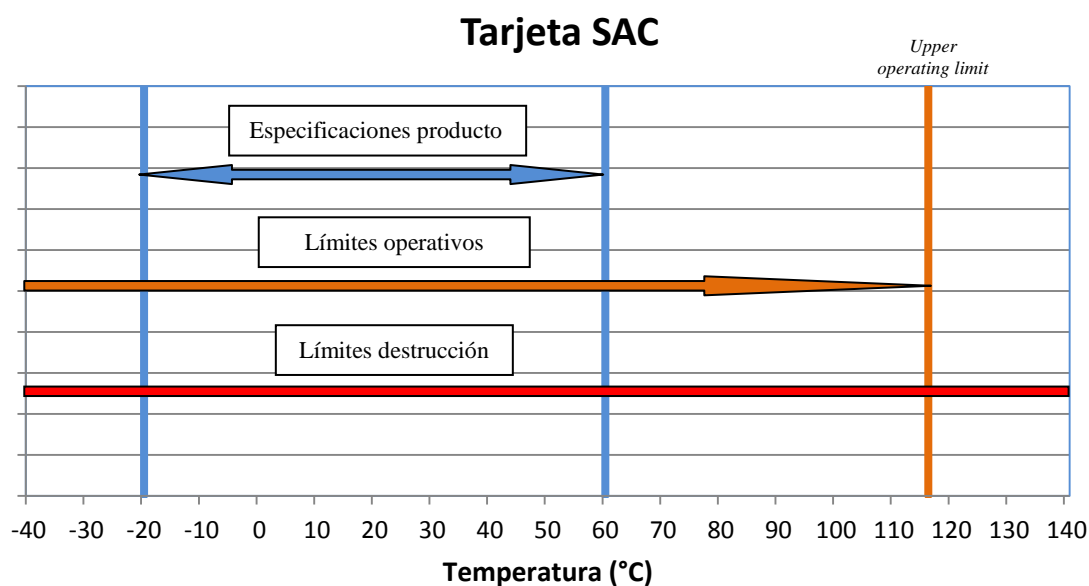
Se han llevado ensayos HALT en la tarjeta *Contactor Supply System* y se ha analizado el comportamiento de diversas señales con la temperatura. Durante el ensayo HSS se observó una falta en la parada de generación de la SAC por tensión de bus máxima. Adicionalmente, la parada por tensión de bus baja a partir de esta temperatura se ha visto disminuida en más de 20 V, estando la tensión en el último punto del ensayo 60 V por debajo de esta. Se debe tener en cuenta que con una tensión de bus menor a 325 Vdc se provocaría un recorte en la senoidal generada por el inversor, provocando una disminución en el valor rms así como el aumento en nivel de armónicos que provoca mayores pérdidas entre otros. A partir de 130°C esta tensión está por debajo de este límite y por tanto se podría establecer un límite operativo superior, pero como se detalla más adelante, se localiza este límite a una temperatura menor. Por otro lado se aprecia que se está midiendo menos tensión que la que se tiene realmente, lo cual podría provocar además un deterioro en componentes como IGBTs (1200 Vdc tensión máxima colector-emisor). Tras encontrar esta falta se descendió de nuevo la temperatura hasta un punto en la que no se producía y se observó que el sistema volvía a funcionar correctamente (detección tensión alta y baja). Por ello se estudió la captación de tensión de bus y se realizaron dos ensayos adicionales para determinar cómo variaban las distintas tensiones y las lecturas del CAD con la temperatura. Se verificó que la variación en los valores óhmicos de las resistencias afecta las lecturas y provoca hasta una desviación de hasta 12,66%, siendo este efecto mayor que el de la variación en la lectura del CAD del dsp (máximo 2,5%). En ambos casos dentro del rango -20°C – 60°C las variaciones son considerablemente menores: máximo 5% en el primer caso y menor al 1% para el segundo. Teniendo en cuenta que 110°C es considerablemente superior a la máxima del equipo, se localiza *upper operating limit*. Los resultados de la prueba se muestran satisfactorios y se puede afirmar que la tarjeta se ajusta a las necesidades de diseño, excediendo ampliamente las temperaturas funcionales. No se ha apreciado deterioro mecánico, en máscara de soldadura o barniz.

Durante el ensayo HSS se apreció un descenso de hasta un 16% del consumo respecto a condiciones nominales (20°C). Dicho descenso acusa un comportamiento inversamente proporcional al aumento en la temperatura. A lo largo del ensayo CSS se aprecia un aumento en el consumo al descender la temperatura, llegando a un 8% respecto a la nominal. Este aumento de corriente no debería suponer un problema ya que la fuente de 24 V dentro del equipo tiene 200W. Esta fuente es capaz de entregar una corriente máxima de 8,3 A y en este montaje se encuentra muy por debajo de esta corriente. Se debe tener en cuenta que dicha fuente no sólo alimenta esta tarjeta, pero se encuentra sobredimensionada y en funcionamiento normal no entrega más de 120W. Este deterioro en su funcionamiento comienza a darse hacia los 115°C pero su comportamiento es más acusado en la última etapa del ensayo (subida a 135°C). La mayoría de componentes tienen una temperatura recomendada de funcionamiento no superior a 85°C, por tanto es esperable este deterioro y se encuentra fuera de los márgenes de diseño del equipo.

En el ensayo HSS se observan anomalías en la tensión de salida del inversor, llegando a tensiones de 240 Vaca y de 204 Vac. Se debe tener en cuenta que dicha fuente actúa en lazo abierto, por lo que no se tiene

feedback de la salida: si la entrada por las variaciones en los componentes como resistencias, no existe ningún control que lo compense. Además la bobina aumentará su resistencia al aumentar la temperatura, así como la caída de tensión en los IGBTs, por lo que es de esperar que se tenga menor tensión a la salida. Recordemos que la función de esta tensión es la de mantener energizada la bobina del contactor AC de salida y este descenso de tensión podría ocasionar la desenergización y conmutación de la misma. Tras consultar la información del fabricante se comprueba que los límites de tensión rms son 100V – 250V. Como se observa al tener 204 V no se producirán problemas en el contactor, ni tampoco al tener 240V. Debido a ello no se tiene límite operativo y tampoco se localizó límite destructivo.

Por tanto se encontró en 116°C el *upper operating limit* causado por la captación de tensión de bus, siendo este fallo recuperable y no causando daño permanente en el equipo.



Gráfica 36. Resultados ensayos HALT tarjeta SAC

3.3.4. Tarjeta medida de tensión de panel

3.3.4.1. Descripción en detalle

El principal objetivo de la tarjeta Vpanel es la realizar una medida de la tensión de panel antes del seccionador de continua del equipo y acomodarla para que la tarjeta de control la lea a través de una entrada digital de corriente.



Imagen 55. Situación de tarjeta medida Vpanel en conjunto Monoblock [7]

La alimentación es a ± 24 Vdc y el fondo de escala de medida de tensión está preparado para ser de hasta 1600 Vdc, por ello, está pensada para utilizarla en equipos de 1500 Vdc. En otros equipos se ajusta a las necesidades del mismo. Para la medida de corriente el fondo de escala son 20 mA.

Esta tarjeta consta de dos partes diferenciadas:

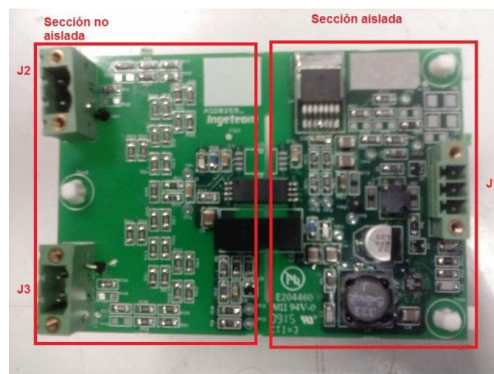


Imagen 56. Fotografía tarjeta medida Vpanel

La sección de la izquierda se establece para poder realizar la medida de forma aislada, reduciendo el ruido y aumentando el rechazo a la tensión de modo común. Para ello se ha utilizado un operacional aislado.

Se utiliza un reductor no aislado que genera 5 V y se utiliza para alimentar un convertidor aislado DC/DC. A dicha fuente no regulada se le añade un circuito para evitar que la tensión de salida exceda los 6Vdc, el cual aumenta el consumo a la salida a partir de 5,23 V.

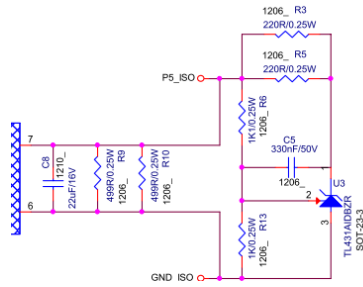


Imagen 57. Circuito limitador tensión [12]

El pin 2 de TL431 es una referencia que se mantiene fija y de valor 2,495 V, y por tanto la tensión V_{ak} (tensión ánodo-cátodo) será fija también y de valor 5,23 Vdc. Así que en el momento en el cual la tensión en P5_ISO supere a la salida, se producirá consumo de corriente en dicho componente. Mediante el siguiente cálculo se obtiene la tensión ánodo – cátodo del componente en función de los valores de resistencias de polarización:

$$V_o = \left(1 + \frac{R_6}{R_{13}}\right) * V_{ref}$$

En la captación de tensión tienen un fondo de escala de 1115 V para este caso, se filtra y se introduce en un operacional de aislamiento. Tras una pequeña ganancia esta tensión es introducida en el circuito tipo “bomba de corriente de Howland”. Este circuito da una corriente de salida independiente de la carga que se le conecte, además de tener un buen rechazo a modo común y alta impedancia de salida. La transformación de la lectura es debido a la mayor inmunidad que presenta ante ruido.

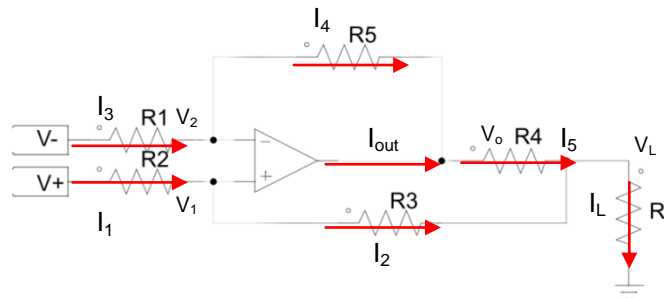


Imagen 58. Análisis en bomba corriente Howland.
Fuente: elaboración propia

$$\begin{aligned} V_1 &= V_2 = V_x \\ i_1 &= \frac{V_+ - V_x}{R_2} = \frac{V_x - 0}{R_3} = i_2 \\ i_3 &= \frac{V_- - V_x}{R_1} = \frac{V_x - V_o}{R_5} = i_4 \\ i_5 &= \frac{V_o - V_L}{R_4} = \frac{V_x - V_o}{R_5} = i_4 \end{aligned}$$

Despejando V_o :

$$\begin{aligned} V_L &= \frac{R_5}{R_1}(V_+ - V_-) \\ I_L &= \frac{1}{R_4} * \frac{R_5}{R_1}(V_+ - V_-) \end{aligned}$$

(Siendo $R_I \ll R_3$)

3.3.4.2. Planteamiento

En el presente apartado se detalla el ensayo HALT realizado sobre la tarjeta de medida de tensión de panel del modelo *Monoblock*. Durante el mismo se medirán principalmente tensiones de alimentación, amplificación de tensión y corriente medida.

Cabe destacar que el objetivo de los ensayos es conocer la situación de los límites de operación y destrucción del equipo como fuente de mejora en el diseño. En el presente documento se muestran las plantillas para plasmar los resultados obtenidos en dos de las cinco etapas de las que está formado un ensayo completo HALT. Las dos pruebas serán realizadas en el laboratorio de *Ingeteam Energy* en Sarriguren.

A continuación se muestra una imagen de la tarjeta en la que se aprecian las dos partes diferenciadas que posee, sección no aislada y sección aislada:

El presente ensayo consiste de dos partes diferenciadas; ensayo funcional y ensayo de monitorización continua. Para la realización del ensayo será necesario el siguiente equipamiento:

- Osciloscopio
- Sonda de tensión aislada
- Multímetro
- Registrador de datos
- Sonda de temperatura ambiente
- Fuente de alimentación ± 24 V
- Fuente de alimentación continua capaz de dar 1000Vdc y tensión alterna variable
- Array resistivo: para realizar una correcta medida de la tensión de bus es necesario escalar la tensión. Esto se debe a la incapacidad de la tarjeta multiplexora de manejar tensiones de continua de valores mayores que 300 Vdc.
- Conectores y cables necesarios

3.3.4.2.1. Ensayo funcional

En general esta parte de la prueba consiste en la comprobación del correcto funcionamiento durante el ensayo HALT de semiconductores, entradas y salidas digitales, activaciones de relés, captaciones etc.

El procedimiento consiste en que, una vez realizado cada salto de temperatura y estabilizada la lectura, se realicen las comprobaciones y medidas pertinentes. A continuación se detallan cada una de ellas:

- Tensión de alimentación P5: se comprueba el valor de tensión entregada por el regulador de tensión no aislado LTC3630AEMSE. Se medirá dicha tensión en cada salto, tras la estabilización, variando la alimentación del regulador de 24 ± 1 V. Se tolerará una variación en la tensión de salida P5 de como máximo un $\pm 0,3$ v respecto al valor nominal ($5 \pm 0,3$ V), debido a especificaciones de diseño. Se medirá entre TP11 y TP8.
- Tensión de alimentación P5 ISO: se monitoriza de forma continua el valor de tensión entregada por la fuente aislada no regulada. Se tolerará una variación en la tensión de salida P5 de -0,1V por debajo del valor nominal y 0,4 por encima ($4,9$ V – $5,4$ V) debido a especificaciones de diseño. La medida se realizará entre TP13 y TP12.
- Inspección visual LEDs: tras la estabilización se asegurará que los LEDs indicadores de las tensiones de alimentación se encuentran operativos. Se comprueba de manera visual el encendido de los LEDs D3, D4 Y D5, correspondientes a las alimentaciones de 24 V, 5V (sin aislar) y 5V aislada.
- Tensión de entrada Vpanel+ y Vpanel-: se quiere medir la tensión que se está inyectando, la cual simula la tensión inyectada de panel. En cada salto y tras la estabilización se darán una serie de valores a dicha tensión de panel y se medirá la salida, como se detalla en el apartado siguiente. Dicha tensión se mide entre TP7 Y TP6.
- Tensión de salida SENSE: una vez realizada la medida de la tensión Vpanel+ y Vpanel- se procede a comprobar que la lectura dada por el circuito de medida es la adecuada.

Para ello es necesario realizar la conexión desde el conector 2 de J1 (J1.2) a masa a través de una resistencia de 150 Ω . Esto se debe a que la lectura tomada de la tensión de panel está en forma de corriente y se quiere traducir a tensión. Dicha tensión se medirá en J1.2.

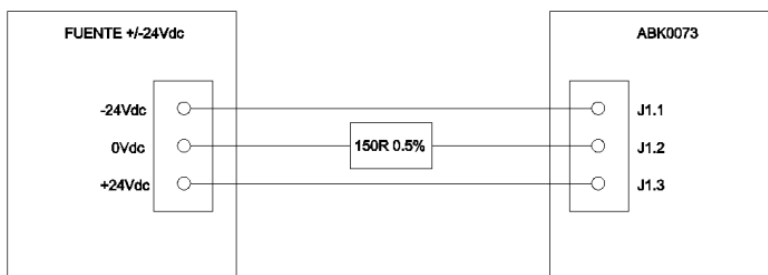


Imagen 59. Montaje tarjeta medida Vpanel.
Fuente: documentación interna [12]

Se irán variando los valores de la tensión de panel, comenzando en 560 V, y una vez se comprueba la lectura en J1.2, se llevará hasta 800V y, posteriormente a 1000V. En cada salto de tensión se comprobará la medida entre TP7 y TP6, como se detalla en el apartado anterior.

Una vez tomadas las medidas en J1.2 se deberá comprobar que se ajusta a lo deseado. Se tiene en cuenta que:

$$I_{out} = \frac{1}{82} \left(\frac{R_{61} + R_{62}}{R_{64} + R_{65}} * (V_{out+} - V_{out-}) \right)$$

Como la lectura se realiza en tensión:

$$V_{sense} = I_{out} * R_{150\Omega}$$

Por ello se debe realizar la siguiente operación:

$$V_{sense} = \left(\frac{8 * 100 * \frac{(V_{panel+} - V_{panel-})}{544100}}{82} \right) R_{150\Omega}$$

Dicho valor de Vsense quedará escalado entre 0V y 3V, y tiene el mismo fondo de escala que el DSP. Despejando la tensión de panel:

$$(V_{panel+} - V_{panel-}) = \frac{V_{sense} * 82 * 544100}{R_{150\Omega} * 8 * 100}$$

Con esta fórmula se calculará la Vsense teórica para cada tensión diferencial de panel. Una vez medida, se deberá comparar con la teórica para comprobar que el funcionamiento del circuito es el correcto.

3.3.4.2.2. Ensayo de monitorización continua

Mediante este test, se obtiene información acerca de los valores que toman las distintas variables adquiridas por el registrador de datos a lo largo del tiempo según se varía la temperatura. Este se lleva a cabo de forma simultánea a las pruebas CSS y HSS.

Se tomarán medidas cada 20 segundos mediante un osciloscopio y los datos serán analizados in-situ pero serán tratados y analizados posteriormente.

- Tensión de alimentación P5: se monitoriza de forma continua el valor de tensión entregada por el reductor no aislado LTC3630AEMSE LMZ14203TZ-ADJ. Se tolerará una variación en la tensión de salida

P5 de cómo máximo un $\pm 0,3$ v respecto al valor nominal ($5 \pm 0,3$ V), debido a especificaciones de diseño. Se medirá entre TP11 Y TP8.

- Tensión de alimentación P5_ISO: se monitoriza de forma continua el valor de tensión entregada por la fuente aislada no regulada. Se tolerará una variación en la tensión de salida P5 de -0,1V por debajo del valor nominal y 0,4 por encima ($4,9$ V – $5,4$ V) debido a especificaciones de diseño. Se medirá entre TP13 Y TP2.

3.3.4.3. Resultados

Se realizan ensayos CSS y HSS sobre esta tarjeta en la cámara climática del laboratorio de Ingeteam en Sarriguren. A continuación se muestra la bancada de ensayos:



Imagen 60. Tarjeta medida Vpanel en interior de cámara climática

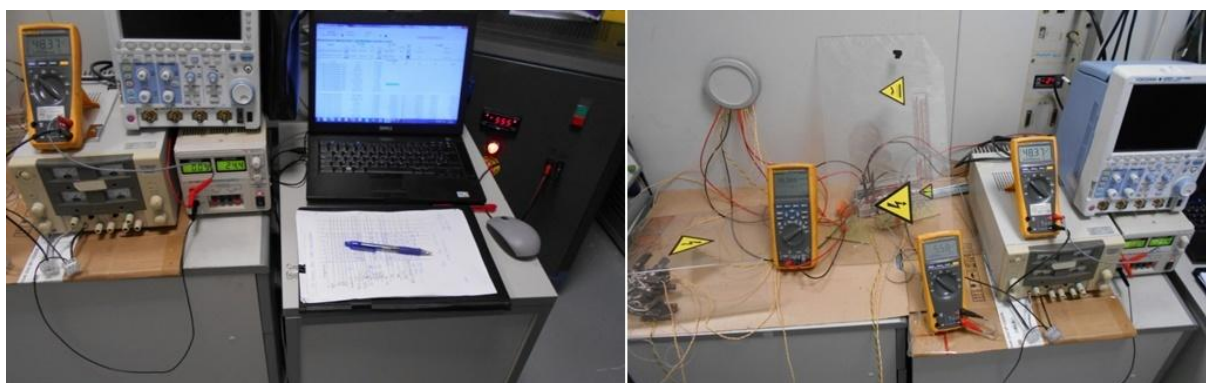


Imagen 61. Banco de ensayos medida Vpanel

3.3.4.3.1. Resultados del test funcional

En el presente apartado se presentan los resultados correspondientes a los test funcionales, correspondientes a los ensayos HSS y CSS, realizados después de cada escalón de temperatura y tras la estabilización de la misma.

Una vez realizados los ensayos se realizará el cálculo de las desviaciones en cada punto del test funcional. Como el objetivo es comprobar la desviación debido exclusivamente al incremento de temperatura, se realiza la diferencia entre el máximo y mínimo obtenidos.

El porcentaje de variación ha sido calculado como:

$$\text{Desviación}(\%) = \frac{\text{Medida realizada} - \text{Valor esperado}}{\text{Valor esperado}} * 100$$

Y la variación de la misma:

$$\Delta \text{Desviación}(\%) = \text{Max}(\%) - \text{Min}(\%)$$

Siendo Max (%) y Min (%) los porcentajes de las variaciones máximas y mínimas respectivamente.

3.3.4.3.1.1. Ensayo HSS

Tarjeta :		Medida Vpanel HSS												
Hora		9:50	10:10	10:50	11:20	11:30	11:55	12:20	12:55	16:50	17:50	18:10	18:30	19:05
Ambiente	Consigna temperatura (°C)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
	Temperatura cámara (°C)	15,36	23,57	32,03	38,50	47,03	57,48	61,58	71,68	82,54	100,63	110,68	120,73	125,34
	Temperatura PCB (°C)	21,79	32,29	41,27	51,61	61,14	70,97	80,71	90,83	99,58	108,98	118,92	128,23	133,13
Medidas	Led D3 (visual)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	Led D5 (visual)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO OK	NO OK
	Led D4 (visual)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO OK	NO OK
	P5 fuente a 24V (V)	5,023	5,025	5,025	5,026	5,026	5,014	5,013	5,013	5,012	5,023	5,020	0	0
	P5 fuente a 19,5V (V)	5,023	5,021	5,025	5,025	5,026	5,013	5,013	5,012	5,011	5,022	5,020	0	0
	P5 fuente a 28V (V)	5,024	5,025	5,026	5,027	5,014	5,014	5,014	5,013	5,012	5,023	5,020	0	0
	P5_ISO fuente a 24V (V)	5,203	5,216	5,225	5,234	5,244	5,240	5,249	5,258	5,264	5,274	5,278	0	0
	P5_ISO fuente a 19,5V (V)	5,202	5,215	5,225	5,235	5,243	5,239	5,249	5,257	2,264	5,276	5,278	0	0
	P5_ISO fuente a 28V (V)	5,204	5,217	5,226	5,237	5,233	5,240	5,250	5,258	5,265	5,276	5,276	0	0
	Isalida medida 558 V (mA)	10,00	10,04	10,06	10,07	10,11	10,15	10,17	10,21	10,24	10,28	10,31	-	-
	Isalida medida 1000 V (mA)	17,96	17,93	18,02	18,10	18,11	18,13	18,15	18,19	18,21	18,24	18,26	-	-
	Var. Bus 558 (V)	1,510	1,522	1,517	1,528	1,536	1,532	1,534	1,541	1,554	1,552	1,561	-	-
	Var. Bus 1000 (V)	2,708	2,702	2,719	2,718	2,725	2,731	2,741	2,751	2,752	2,752	2,763	-	-
Consumo fuente 24 V (A)		0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,03
TEST(OK/ NO OK)		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO OK	NO OK

Tabla 35. Ensayo funcional HSS tarjeta medida Vpanel I

En la siguiente tabla se calcula los valores porcentuales de las magnitudes medidas respecto al valor teórico. Sin embargo, este análisis se ha realizado con los valores pre – falta para poder estudiar la variación de dichas magnitudes con la temperatura dentro de los límites funcionales y averiguar si el comportamiento de las mismas es adecuado:

Tarjeta medida Vpanel HSS																	
HORA	9:50	10:10	10:50	11:20	11:30	11:55	12:20	12:55	16:50	17:50	18:10	18:30	19:05	MAX (%)	MIN (%)	Δ (%)	
DESVIACION (%)																	
DESVIACIÓN(%)	Consigna ^a (°C)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	-	-	-
	Tª cámara (°C)	15,36	23,57	32,03	38,50	47,03	57,48	61,58	71,68	82,54	100,63	110,68	120,73	125,34	-	-	-
	Tª PCB (°C)	21,79	32,29	41,27	51,61	61,14	70,97	80,71	90,83	99,58	108,98	118,92	128,23	133,13	-	-	-
	P5 fuente a 24V (V)	0,46	0,50	0,50	0,52	0,52	0,28	0,26	0,26	0,24	0,46	0,40	-	-	0,52	0,24	0,28
	P5 fuente a 19,5V (V)	0,46	0,42	0,50	0,50	0,52	0,26	0,26	0,24	0,22	0,44	0,40	-	-	0,52	0,22	0,30
	P5 fuente a 28V (V)	0,48	0,50	0,52	0,54	0,28	0,28	0,28	0,26	0,24	0,46	0,40	-	-	0,54	0,24	0,30
	P5_ISO fuente a 24V (V)	4,06	4,32	4,50	4,68	4,88	4,80	4,98	5,16	5,28	5,48	5,56	-	-	5,56	4,06	1,50
	P5_ISO fuente a 19,5V (V)	4,04	4,30	4,50	4,70	4,86	4,78	4,98	5,14	5,28	5,52	5,56	-	-	5,56	5,04	1,52
	P5_ISO fuente a 28V (V)	4,08	4,34	4,52	4,74	4,66	4,80	5,00	5,16	5,30	5,52	5,52	-	-	5,52	4,08	1,44
	Isalida medida 558 V (mA)	0,00	0,90	0,60	0,70	1,10	1,50	1,70	2,10	2,40	2,80	3,10	-	-	3,10	0,00	3,10
	Isalida medida 1000 V (mA)	0,34	0,17	0,67	1,12	1,17	1,28	1,40	1,62	1,73	1,90	2,01	-	-	2,01	0,17	1,84
	Var. Bus 558 (V)	-0,66	0,13	-0,20	0,53	1,05	0,79	0,92	1,38	2,24	2,11	2,70	-	-	2,70	-0,66	3,36
	Var. Bus 1000 (V)	-0,44	-0,66	-0,04	-0,07	0,18	0,40	0,77	1,14	1,18	1,18	1,58	-	-	1,58	-0,66	2,24
	TEST OK/NO OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO OK	NO OK	-	-	-

Tabla 36. Ensayo funcional HSS tarjeta medida Vpanel II

En cuanto al consumo de corriente (medido desde la fuente de 24 V que alimenta la electrónica) se aprecia una tendencia descendente con el aumento de temperatura. Este comportamiento es esperable y se analizará con más detenimiento en el apartado 3 del presente documento. Cabe destacar que las diferentes tensiones generadas por la tarjeta han sido medidas durante el ensayo de monitorización continua, así como su comportamiento y rechazo frente a las variaciones en la tensión de alimentación.

En referencia a la tensión de salida del operacional aislada (Var. Bus), se establece que el límite es 2,65 – 2,73 para 1000 Vdc y 1,48 – 1,52 para Vbus de 558 Vdc. En la prueba HSS se observa que la tendencia en ambas tensiones es ascendente y además dichos límites se rebasan a partir de 60°C. No obstante dichos

límites se rebasan en 2,7% y 1,6% para los casos de tensión de bus de 558Vdc y 1000 Vdc respectivamente.

La lectura de tensión P5 se encuentra de los márgenes permitidos, ya que en ningún momento se rebasa el 0,54% respecto al valor nominal, siendo admisibles valores entre el 4,9V y 5,4V (-2% y +8%). El reductor aislado Buck entrega una tensión que como máximo rebasa al valor nominal un 5,5%, siendo válidos valores entre -6% y +6% (4,7V y 5,3V). Cabe destacar que para este segundo componente el aumento del error (definido como valor porcentual de la tensión leída respecto a la nominal) con la temperatura aumenta únicamente en 1,5%. Esto se debe a que a temperatura ambiente el error ya es del 4%, debido a las tolerancias en los componentes discretos.

Ambos componentes (U1 y U4) presentan una buena regulación de línea como se observa en la anterior tabla, ya que son capaces de rechazar perturbaciones en la tensión de entrada sin afectar a su salida.

3.3.4.4. Ensayo CSS

Tarjeta :		Medida Vpanel CSS						
Hora		9:45	10:10	10:40	11:00	11:25	12:0	12:50
Ambiente	Consigna temperatura (°C)	20	10	0	-10	-20	-30	-40
	Temperatura cámara (°C)	21,2	14,45	5,94	-4,81	-15,61	-22,41	-25,35
	Temperatura PCB (°C)	20,46	12,72	2,214	-6,12	-18,01	-21,8	-24,37
Medidas	Led D3 (visual)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	Led D5 (visual)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	Led D4 (visual)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	P5 fuente a 24V (V)	5,021	5,021	5,020	5,019	5,016	5,015	5,015
	P5 fuente a 19,5V (V)	5,021	5,021	5,019	5,018	5,015	5,014	5,014
	P5 fuente a 28V (V)	5,020	5,020	5,020	5,020	5,017	5,016	5,016
	P5_ISO fuente a 24V (V)	5,190	5,190	5,181	5,179	5,154	5,148	5,146
	P5_ISO fuente a 19,5V (V)	5,190	5,190	5,183	5,168	5,153	5,147	5,144
	P5_ISO fuente a 28V (V)	5,200	5,195	5,182	5,171	5,156	5,150	5,147
	Isalida medida 558 V (mA)	10,05	10,03	9,98	10,01	9,93	10,00	10,00
	Isalida medida 1000 V (mA)	17,96	17,96	17,97	17,98	17,95	17,92	17,91
	Var. Bus 558 (V)	1,510	1,518	1,504	1,514	1,506	1,518	1,506

	Var. Bus 1000 (V)	2,720	2,711	2,713	2,713	2,713	2,703	2,699
	Consumo fuente 24 V (A)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
TEST(OK/ NO OK)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

Tabla 37. Ensayo funcional CSS tarjeta medida Vpanel I

En este ensayo se observa que, al contrario que en el ensayo HSS no se observa falta alguna en el circuito (tener en cuenta que el ensayo CSS fue realizado con anterioridad al HSS, de ahí que el circuito mantenga su funcionalidad intacta). Además tampoco se observó falta en los LEDs D5 o D4. Tras analizar las lecturas de corriente de salida se tiene en cuenta la variación y precisión en la fuente de DC, que es de un $\pm 4V$. Resolviendo el circuito se obtiene la siguiente expresión:

$$I_{out} = \frac{8 * 100 * \frac{V_{panel+} - V_{panel-}}{544100}}{82}$$

Se resuelve para una tensión de panel de $558 V \pm 4 V$ y se comprueba que el rango de corriente de salida es de $9,93 mA - 10,07 mA$. Para $1000 V_{bus}$ este rango es de $17,85 mA - 18,00 mA$. Se comprueba que las lecturas están dentro de ese rango y se dan por válidos los resultados, aunque una de ellas se encuentra en el límite ($-20^{\circ}C$). Esta temperatura es la mínima que debe soportar un equipo *MonoBlock*, y a pesar de estar en el límite no causaría faltas ni fallos en el equipo. Para la lectura de corriente a $1000 V_{dc}$ de tensión de bus, todas las medidas se encuentran dentro de los límites

En la siguiente tabla se calcula los valores porcentuales de las magnitudes medidas respecto al valor teórico. Sin embargo, este análisis se ha realizado con los valores pre – falta para poder estudiar la variación de dichas magnitudes con la temperatura dentro de los límites funcionales y averiguar si el comportamiento de las mismas es adecuado:

Tarjeta medida Vpanel CSS											
HORA		9:50	10:10	10:50	11:20	11:30	11:55	12:20	MAX (%)	MIN (%)	Δ (%)
DESVIACION (%)											
DESVIACIÓN(%)	Consigna tª (°C)	20	10	0	-10	-20	-30	-40	-	-	-
	Tª PCB	19,37	8,85	-0,96	-11,82	-21,06	-26,60	-28,71	-	-	-
	Temperatura PCB (°C)	21,79	32,29	41,27	51,61	61,14	70,97	80,71	-	-	-
	P5 fuente a 24V (V)	0,42	0,42	0,40	0,38	0,32	0,30	0,30	0,42	0,30	0,12
	P5 fuente a 19,5V (V)	0,42	0,42	0,38	0,36	0,30	0,28	0,28	0,42	0,28	0,14
	P5 fuente a 28V (V)	0,40	0,40	0,40	0,40	0,34	0,32	0,32	0,40	0,32	0,08
	P5_ISO fuente a 24V (V)	3,80	3,80	3,62	3,58	3,08	2,96	2,92	3,80	2,92	0,88
	P5_ISO fuente a 19,5V (V)	3,80	3,80	3,66	3,36	3,06	2,94	2,88	3,80	2,88	0,92

P5_ISO fuente a 28V (V)	4,00	3,90	3,64	3,42	3,12	3,00	2,94	4,00	2,94	1,06
Isalida medida 558 V (mA)	0,50	0,30	-0,20	0,10	-0,99	0,00	0,00	0,50	-0,99	1,49
Isalida medida 1000 V (mA)	0,34	0,34	0,39	0,45	0,28	0,11	0,06	0,45	0,06	0,39
Var. Bus 558 V	-0,66	-0,13	-1,05	-0,39	-0,92	-0,13	-0,92	-0,13	-1,05	0,92
Var. Bus 1000 V	0,00	-0,33	-0,26	-0,26	-0,26	-0,63	-0,77	0,00	-0,77	0,77
TEST OK/NO OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

Tabla 38. Ensayo funcional CSS tarjeta medida Vpanel II

3.3.4.4.1. Resultados de la monitorización continua

Tras realizar la monitorización de los diferentes parámetros de interés del circuito se muestran los resultados. En ellos se muestra el porcentaje de error máximo a lo largo de todo el ensayo.

3.3.4.4.1.1. Ensayo HSS

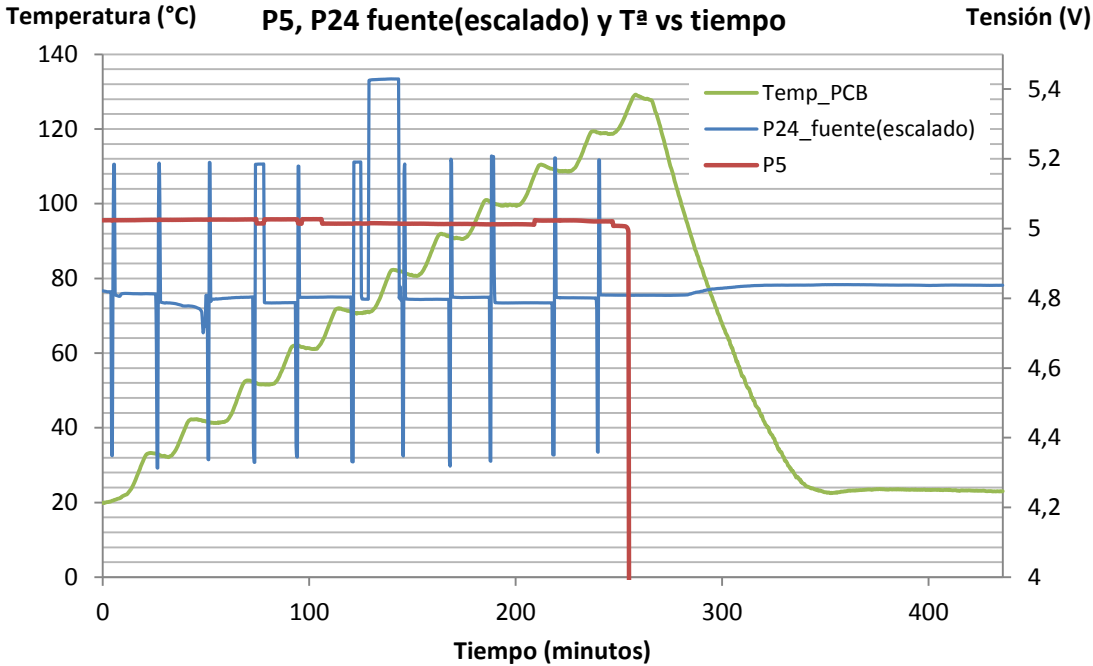
Se parte de 20 °C y se va incrementando la temperatura de referencia en intervalos de 10°C hasta los 140°C de consigna de la cámara climática. Los porcentajes se calculan en función de la desviación respecto al valor teórico:

Tarjeta medida Vpanel HSS				
		% Error MAX	% Error MIN	Δ % Error
Medidas	P5	0,22	0,55	0,33
	P5_ISO	5,58	4,05	1,53
	Captación R150*	1,52	1,51	0,01
	Vout	0	-2,44	2,44
	Vin	3,92	-2,94	6,86
	SalidaOP_TP5	24,57	24,49	0,08
TEST(OK/ NO OK)		NO OK	NO OK	NO OK

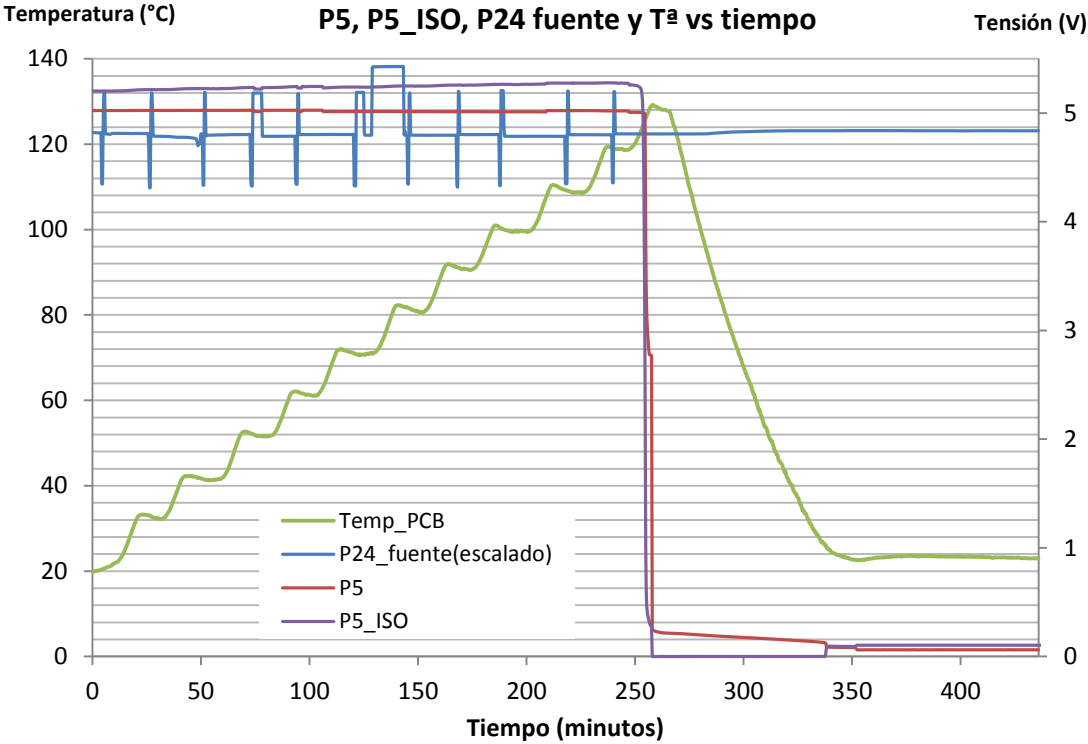
Tabla 39. Ensayo monitorización HSS tarjeta medida Vpanel

*Los valores de esta variable no son dados como porcentuales sino como absolutos

En el apartado 4.1 del Anexo I se pueden consultar las gráficas de este apartado.



Gráfica 37. T. medida Vpanel HSS: TªPCB, P24(escala 1/5) y P5 vs tiempo



Gráfica 38. T. medida Vpanel HSS: P5, P5_ISO, TªPC y P24(escala 1/5) vs tiempo

3.3.4.4.1.2. Ensayo CSS

A continuación se muestran los resultados del ensayo de monitorización continua CSS:

Tarjeta medida Vpanel CSS				
		% Error MAX	% Error MIN	Δ % Error
Medidas	P5	0,47	0,13	0,34
	P5_ISO	4,10	2,86	1,24
	Captación R150*	1,51	1,46	0,05
	Vout	0	-3,65	3,65
	Vin	0	-3,53	3,53
	SalidaOP_TP5	24,49	24,44	0,05
TEST(OK/ NO OK)		-	-	-

Tabla 40. Ensayo monitorización HSS tarjeta medida Vpanel

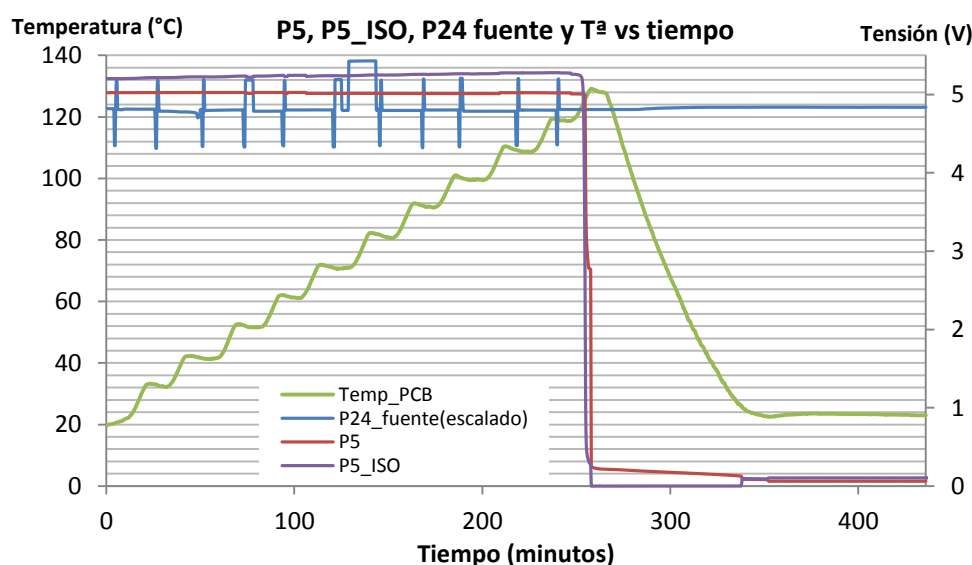
*Los valores de esta variable no son dados como porcentuales sino como absolutos

En el apartado 4.2 del Anexo I se pueden consultar las gráficas de este apartado.

3.3.4.4.2. Análisis de resultados

Fallo en fuentes de tensión

De las tablas anterior se observa una falta a partir de la estabilización de 128°C (Tª PCB), en la cual tanto el reductor no aislado U1 como la fuente no regulada U4 dejaron de funcionar. Como consecuencia de ello, a la salida no se obtiene lectura de corriente. Además los LEDs D5 y D4 dejaron de funcionar. Cabe destacar que tras la aparición de la falta, se provocó un descenso de temperatura de 30°C, a fin de comprobar si la falta se recuperaba. El resultado fue negativo. Se continuó con el ensayo para analizarlo posteriormente. Tras el mismo y a temperatura ambiente, se comprobó que el daño en la tarjeta es permanente; aparentemente se ha alcanzado el límite destructivo superior. A continuación se analizará la naturaleza de esta falta.



Gráfica 39. T. medida Vpanel: P5, P5_ISO, P24 fuente y Tª vs tiempo

*P24_fuente tiene un factor de escala de 1/10

Primero se comprueba que los diodos D1 y D2 funcionan correctamente. Se introducen ± 24 V en la entrada y se toman medidas: se tienen 47,99 V entre terminales de conector J1 y 46,01 entre P24 y N24. Esta medida es correcta y tienen en cuenta la caída de potencial en diodo resistencia e inductancia.

La entrada al reductor no aislado es correcta, sin embargo no genera 5 V a la salida sino 0,25 V. Después se reanudó el ensayo y se siguió apreciando un descenso paulatino, en ningún momento ascendió la tensión de salida de 0,25 V.

Consultando la información del fabricante (LTC3630AEMSE) se comprueba que la temperatura máxima de operación del componente es de 125°C, siendo esta aproximadamente la temperatura a la que ha fallado el componente estudiado. Según indica el fabricante, condiciones de funcionamiento por encima de los límites máximos mostrados en la anterior tabla pueden causar daño permanente en el dispositivo. Por tanto es esperable que este fallo se haya producido. Si bien esta temperatura está por encima del rango de funcionamiento del equipo *MonoBlock*, se plantea la opción de sustituir de este componente por uno de la serie 3630AH, cuyo máximo de temperatura de funcionamiento es de 150°C. Debido al tamaño y disposición de U1, la retirada es prácticamente imposible sin un consecuente deterioro la tarjeta.

Tras el ensayo se retira la fuente aislada de la tarjeta y se ensaya por separado, retirándola de la tarjeta. Se alimenta con 5 Vdc para comprobar si el fallo anterior fue debido únicamente a la tensión insuficiente entregada por U1 o si la propia fuente U4 fallo. Además se quiere verificar si el fallo en esta fuente es permanente. Se comprueba que tampoco funciona correctamente, entregando una tensión cercana a cero en la salida. Tras consultar la información ofrecida por el fabricante se observa que el límite térmico de funcionamiento es de 85°C, siendo en este ensayo difícil determinar el punto exacto en el que falló, ya que la fuente U1 falló primero.

En referencia a la tensión del reductor no aislado P5 aislada antes de la falta (en ambos ensayos CSS y HSS) se encuentra de los márgenes permitidos, ya que en ningún momento se rebasa el 0,54% respecto al valor nominal, siendo admisibles valores entre el 4,9V y 5,4V (-2% y +8%). El reductor aislado Buck entrega una tensión que como máximo rebasa al valor nominal un 5,5%, siendo válidos valores entre -6% y +6% (4,7V y 5,3V).

En relación con este fallo se observa que el consumo de corriente (medido desde la fuente de 24 V que alimenta la electrónica) se mantiene estable a lo largo del ensayo pero acusa un brusco descenso al llegar la temperatura de referencia a los 120°C. Esto coincide con el deterioro de los componentes U1 y U4, que dejan de funcionar. Cabe destacar que las diferentes tensiones generadas por la tarjeta han sido medidas durante el ensayo de monitorización continua, así como su comportamiento y rechazo frente a las variaciones en la tensión de alimentación.

Tras este ensayo se establece como elemento más débil al reductor no aislado, que sufrió daño permanente tras superar los 125°C. El convertidor DC/DC aislado también sufrió daño permanente: se establece límite destructivo superior. Cabe destacar que hasta el momento de la falta ninguno de los dos mostró un comportamiento erróneo, y la máxima variación durante ese periodo en la tensión se tiene en el reductor no aislado con un 1,2% respecto a la nominal, lo cual no se aprecia en la salida de los 5 V aislados.

Queda planteada como línea futura la sustitución de U1 por el indicado anteriormente (serie 3630AH) y la comprobación del límite en la fuente U4.

Fallo en LEDs D5 y D4

Dichos LEDs dejaron de lucir durante el ensayo debido a que las tensiones de 5 V, tanto no aislada como aislada, disminuyeron su valor hasta prácticamente 0 V, valor insuficiente para la polarización de los mismos.

Tras el ensayo se pretende asegurar si estos LEDs presentaron daño permanente o solo dejaron de lucir debido a tensión insuficiente. Se comprobó satisfactoriamente que todos los LEDs funcionan correctamente; no se causó daño permanente en los mismos.



Imagen 62. Comprobación funcionamiento LEDs tarjeta medida Vpanel

Lectura corrientes

Tras analizar las lecturas de corriente de salida se tiene en cuenta la variación y precisión en la fuente de DC, que es de un $\pm 4V$. Resolviendo el circuito de salida de corriente se obtiene la siguiente expresión:

$$I_{out} = \frac{8 * 100 * \frac{V_{panel+} - V_{panel-}}{544100}}{82}$$

Se resuelve para una tensión de panel de $558 \pm 4 V$ y se comprueba que el rango de corriente de salida es de $9,93 mA - 10,07 mA$. Para $1000 \pm 4 V$ este rango es de $17,85 mA - 18,00 mA$. Se comprueba que a partir de $60^{\circ}C$ la lectura se encuentra por encima del valor calculado, posiblemente afectado por la variación en los valores de resistencias con la temperatura, así como de condensadores y el propio amplificador aislado (lo cual se analiza más adelante en este apartado). Esta temperatura está fuera del rango máximo del equipo *Monoblock*, la cual es $50^{\circ}C$, pero se analiza el efecto que podría tener esta variación:

- Teniendo en cuenta una tensión de $558 V_{dc}$ y la lectura de corriente a $20^{\circ}C$ ($10 mA$), se analiza el circuito de captación de la AAV0003 (tarjeta de captaciones) y se tendría una lectura de $559 V_{dc}$. Si la lectura fuese la de $120^{\circ}C$, se correspondería a $576 V$. Se tendría una variación considerable que falsea en cierto modo las lecturas y podría dar problemas de cara a la determinación de alarmas o límites de tensión ($17^{\circ}C$ de diferencia). Estos cálculos se han realizado asumiendo que las otras partes del circuito (resistencias u operacional de captación) no se han visto afectados por la temperatura). Se debe tener en cuenta que una temperatura tan elevada de 120° no representa una situación real de funcionamiento del equipo y este cálculo tiene fin meramente ilustrativo.
- Para una tensión de bus de $1000 V_{dc}$ teóricamente se obtienen $1002 V$ en la captación (teniendo en cuenta que el circuito de captación es el de la tarjeta de captaciones AAV0002. Sin embargo si dicha lectura se realizase con el dato obtenido a 120° ($18,26 mA$), la lectura en el CAD de la tarjeta de captaciones sería de $1020^{\circ}C$; difiere en $18^{\circ}C$.

De nuevo estas temperaturas se encuentran fuera del rango térmico para el cual el equipo ha sido diseñado y por ello se muestran las lecturas en los rangos de diseño ($-20^{\circ}C$ a $50^{\circ}C$) para tensiones de bus:

- $V_{bus} 558 V_{dc}$:

Temperatura	Corriente medida (mA)	Vcaptación (V)	Conversión DAC (V)
-20	9,90	1,485	553,466
-10	10,01	1,501	559,559
0	9,98	1,497	557,882
10	10,03	1,504	560,677
20	10,04	1,501	559,001

30	10,09	1,513	564,031
40	10,06	1,509	562,354
50	10,07	1,510	562,913

Tabla 41. Lecturas pruebas captacion tarjeta medida Vpanel con Vbus 558 V.

La diferencia en la lectura del DAC entre -20°C y 50°C es de 9,45 V

- Vbus 1000 Vdc:

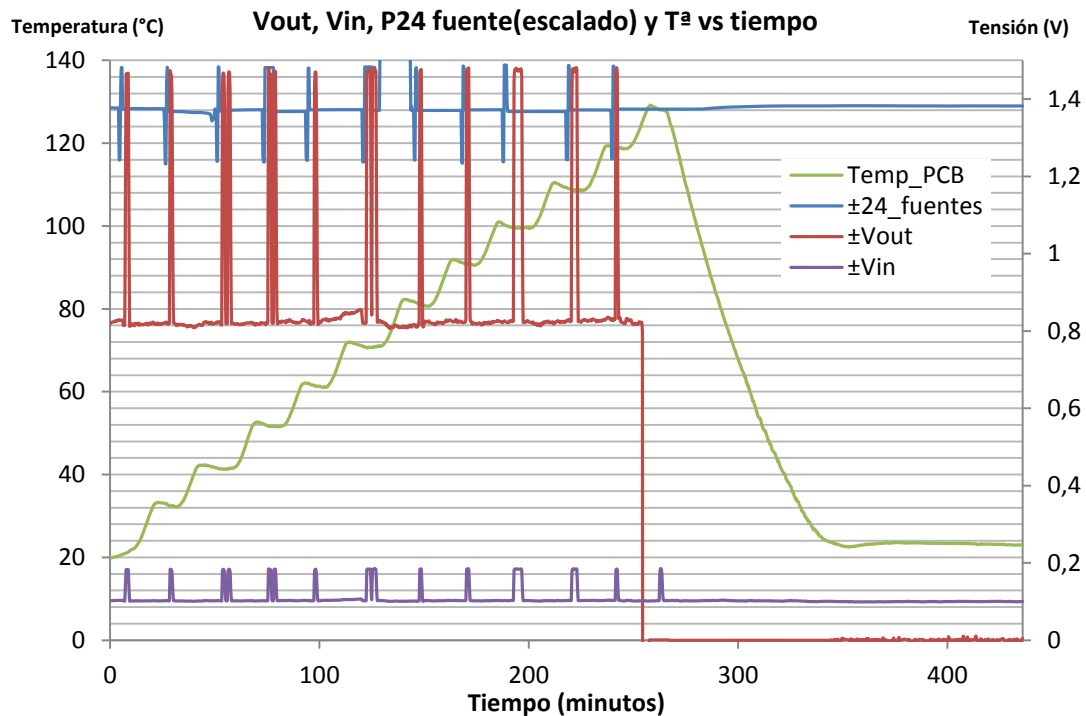
Temperatura	Corriente medida (mA)	Vcaptación (V)	Conversión DAC (V)
-20	17,95	2,6925	1003,405
-10	17,98	2,697	1005,082
0	17,97	2,6955	1004,523
10	17,96	2,694	1003,964
20	17,96	2,694	1003,964
30	17,93	2,6895	1002,287
40	18,02	2,703	1007,318
50	18,1	2,715	1011,794

Tabla 42. Lecturas pruebas captacion tarjeta medida Vpanel con Vbus 1000 V.

En este caso la diferencia en la lectura del DAC entre -20°C y 50°C es de 8,385 V

De estas lecturas se puede afirmar que las variaciones se encuentran dentro del rango admisible, ya que son menores que el 1% respecto a 1000V. Esta tensión es utilizada a nivel de protecciones y este margen no supondrá un peligro para la integridad del equipo. Para temperaturas superiores la máxima desviación antes de la falta en la tensión de alimentación se detecta un máximo de 2,3% de desviación para una temperatura de 120°C, lo cual no incurre un límite operativo.

A continuación se estudia la variación que de las lecturas debido a las variaciones en resistencias, amplificadores debido a la temperatura:



Gráfica 40. T. medida Vpanel HSS: Vout, Vin, P24 fuente y Tª vs tiempo

De la gráfica anterior, correspondiente al ensayo HALT se puede observar que la variación en el valor óhmico de las resistencias de la captación no tiene un efecto considerable en el valor de la entrada a U5. Si se realiza el cálculo de la tensión de entrada para un incremento de 100°C teniendo en cuenta los coeficientes de variación de las resistencias:

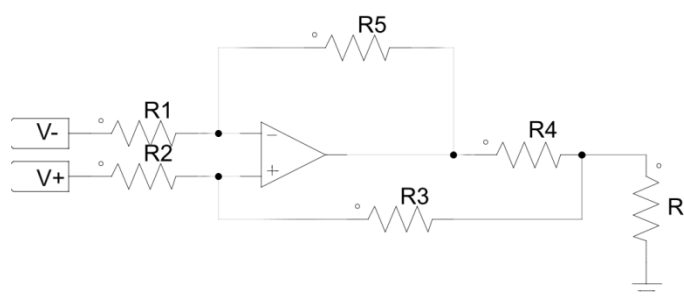
$$R_{68k} = 68 \text{ k}\Omega \pm 100 \text{ ppm} * \Delta T = 68680 \Omega$$

$$R_{100} = 100 \Omega \pm 100 \text{ ppm} * \Delta T = 101 \Omega$$

Calculando la tensión de entrada a U5:

$$(V_{panel+} - V_{panel-}) * \frac{549440}{2 * 549440 + 101} = (V_{panel+} - V_{panel-}) * 0,4999$$

Siendo este factor de escala 0,4999 para una temperatura de 20°C. Se comprueba que en este caso la temperatura no afecta significativamente a la lectura y concuerda con medidas tomadas en el ensayo. Sin embargo se va a estudiar el efecto de la variación de las resistencias en la bomba de corriente *Howland*:



$$\begin{aligned} R1 = R5 &= (220 \text{ k}\Omega \pm 100 \text{ ppm} * \Delta T) + (82 \Omega \pm 100 \text{ ppm} * \Delta T) \\ &= \left(220 \text{ k}\Omega \pm 100 \frac{\text{ppm}}{^\circ\text{C}} * 100^\circ\text{C}\right) + \left(82 \Omega \pm 100 \frac{\text{ppm}}{^\circ\text{C}} * 100^\circ\text{C}\right) \\ &= (220 \text{ k}\Omega \pm 2,2 \text{ k}\Omega) + (82\Omega \pm 0,82\Omega) = 220082 \Omega \pm 2200,82 \Omega \end{aligned}$$

$$R4 = (82 \Omega \pm 100 \text{ ppm} * \Delta T) = \left(82 \Omega \pm 100 \frac{\text{ppm}}{^\circ\text{C}} * 100^\circ\text{C}\right) = (82\Omega \pm 0,82\Omega) = 82\Omega \pm 0,82 \Omega$$

Teniendo en cuenta las tolerancias de R1 y R5:

$$R5 = (82 \pm 0,082 \Omega) + (220000 \pm 220 \Omega)$$

Para el peor de los casos se calcula cociente $\frac{R5}{R1}$:

$$\frac{R5}{R1} = \frac{220220 + 82,082}{219780 + 81,918} = 1.002$$

Para una tensión de bus de 558±4 Vdc:

$$I_{sense} = 1,002 * \left(\frac{8 * 100 * \frac{1000}{544100}}{82,82} \right) = 9,906 \text{ mA}$$

$$V_{sense} = I_{sense} * R_{150 \Omega} = 1,486 \text{ V}$$

Para el caso más desfavorable teniendo en cuenta la precisión en la ganancia de U5 una tensión de bus y las tolerancias de las resistencias con Vbus de 558±4 Vdc:

$$I_{sense} = 1,002 * \left(\frac{8,08 * 101,5 * \frac{562}{541280}}{82,71} \right) R_{150\Omega} = 10,30mA$$

$$V_{sense} = I_{sense} * R_{150\Omega} = 1,55V$$

Se comprueba que estos valores concuerdan con las medidas tomadas, cuya tensión máxima ha sido de 1,56 V. No se establece límite operativo ni destructivo.

3.3.4.4.3. Conclusiones y mejoras

Se ha sometido la tarjeta de medida de tensión de panel a un ensayo HALT. A lo largo del ensayo así como de manera posterior se ha estudiado la evolución de diferentes señales y parámetros de interés de la PCB.

Durante el ensayo HSS se detectó falta en la tensión entregada por los reguladores a partir de 126°C. Se disminuyó la temperatura para comprobar si dicha falta se recuperaba tras ensayo, pero no fue el caso. Se analizó el circuito posteriormente al ensayo y se comprobó el origen de esta falta. Se comprobó que la falta en los diodos D4 y D5 fue debido al fallo de las fuentes y que funcionaban correctamente. Al detectar la falta se redujo la temperatura hasta 80°C y se esperó a que estabilizase, no obstante la falta siguió presente. Cabe mencionar que previamente a la falta el reductor mantuvo la tensión constante y de valor 5V. Debido al tamaño y disposición de U1, la retirada es prácticamente imposible sin un consecuente deterioro la tarjeta.

Se comprueba que la temperatura máxima de operación del reductor no aislado es de 125°C, siendo esta la temperatura a la que ha fallado el componente estudiado. Según indica el fabricante, condiciones de funcionamiento por encima de los límites máximos mostrados en la anterior tabla pueden causar daño permanente en el dispositivo. Por tanto es esperable que este fallo se haya producido. Si bien esta temperatura está por encima del rango de funcionamiento del equipo *MonoBlock*, una opción podría ser la sustitución del reductor no aislado componente por uno de la serie 3630AH, cuyo máximo de temperatura de funcionamiento es de 150°C. Adicionalmente se comprobó que el convertidor aislado U4 tampoco funciona correctamente en una prueba post-ensayo y tras consultar la información Además se ha observado que el consumo de corriente (medido desde la fuente de 24 V que alimenta la electrónica) se mantiene estable a lo largo del ensayo pero acusa un brusco descenso al llegar la temperatura de referencia a los 120°C. Esto coincide con el deterioro de los componentes U1 y U4, que dejan de funcionar. Se localiza aquí el *upper destructive limit*.

Se han acusado variaciones en las lecturas de tensión y corriente a lo largo del ensayo. Se tienen en cuenta las tolerancias en las resistencias, variación de su valor óhmico frente a la temperatura y las tolerancias en las especificaciones de componentes como el operacional aislado y se calcula teóricamente para llega a un máximo de 2,3% de error en la medida de corriente; se comprueba que los cálculos teóricos concuerdan con las medidas tomadas. De las lecturas se puede afirmar que las variaciones se encuentran dentro del rango admisible, ya que son menores que el 1% respecto a 1000V. Esta tensión es utilizada a nivel de protecciones y este margen no supondrá un peligro para la integridad del equipo; no se establece un límite operativo.

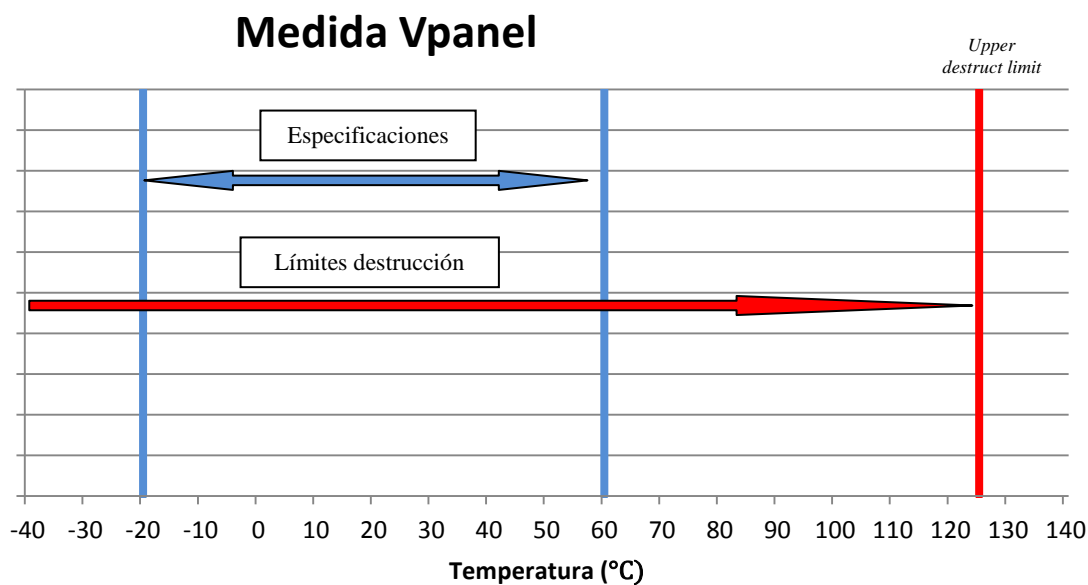
Se verifica que las lecturas concuerdan con los cálculos para las temperaturas de operación de los componentes, así como de las de trabajo del equipo *MonoBlock*. No se establece límite operativo.

Como complemento se ha realizado el arranque de la tarjeta a una temperatura ambiente de -30°C partiendo del reposo (apagado) de modo que la inercia térmica de la tarjeta contribuyese a mantener la temperatura más elevada que el ambiente. Se ha comprobado que el arranque se produce de manera correcta. No se ha apreciado deterioro mecánico, en máscara de soldadura o barniz.

En el ensayo se ha establecido que el reductor no aislado U1 ha sido el elemento más débil del diseño. Se ha propuesto su sustitución por otra fuente de las mismas características pero con mayor límite térmico, no

obstante la tarjeta funciona a la perfección en el rango térmico del *Monoblock*: -20°C/60°C y dicha sustitución no es necesaria. Las variaciones en las lecturas y otros parámetros han sido evaluadas y verificada su validez para el rango de funcionamiento de los componentes. El resultado del ensayo ha sido satisfactorio y no plantea la necesidad del rediseño de la tarjeta.

Queda planteada como línea futura la sustitución de U1 por el indicado anteriormente (serie 3630AH) y la comprobación del límite en la fuente U4.



Gráfica 41. Resultados ensayos HALT medida Vpanel

3.3.5. Tarjeta de conexionado Drivers e IGBT

Los ensayos llevados a cabo a esta tarjeta han sido realizados al mismo tiempo que a la tarjeta de Drivers y todos los detalles se pueden encontrar en el apartado 3.3.5 y en el anexo I, apartado 5.

3.3.6. Tarjeta de Drivers para 2 SIX-IGBT PACKS paralelo

3.3.6.1. Descripción en detalle

Esta tarjeta es un driver con la capacidad de gobernar 12 IGBTs. De ellos, 6 ellos se encuentran conectados en paralelo para manejar el disparo de la rama superior (llamada TOP) y otros 6 se encargan de la rama inferior BOT. En el equipo se utilizan dos packs de 6 IGBTs cada uno conectados en paralelo, de modo que quedan 6 en paralelo para la rama TOP y 6 en paralelo para la rama BOT.

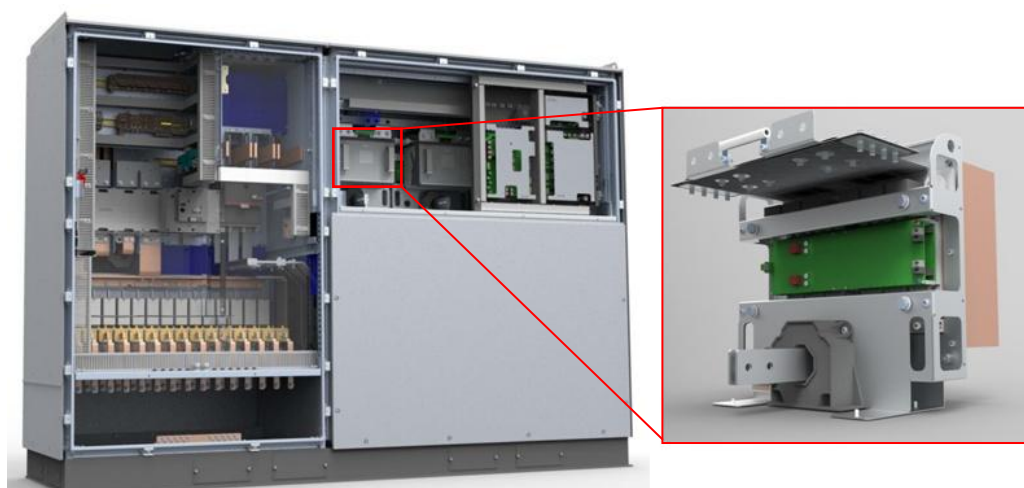


Imagen 63. Situación tarjeta drivers en equipo Monoblock [7]

Entre las características principales de esta tarjeta es que posee un interfaz de comunicación por fibra óptica, teniendo cada rama un canal de recepción y otro de transmisión. La alimentación es de 15 V y tiene un pico de corriente de salida de 64 amperios. Las fuentes de alimentación tienen protección contra cortocircuito, con método de protección soft shut down. Asimismo la tarjeta es capaz de detectar errores en la tensión de alimentación (tensión insuficiente) y ante cortocircuito. Tras la detección de error y la parada del driver el rearme es automático.



Imagen 64. Tarjeta drivers IGBT

Fuentes de alimentación

Se utilizan dos fuentes no reguladas, una para cada rama, que entregan ± 15 Vdc y se alimentan a través de 15 V regulados desde la tarjeta de fuentes del equipo *MonoBlock*. La topología utilizada es Push-Pull y la potencia de salida de cada fuente es de 15 W.

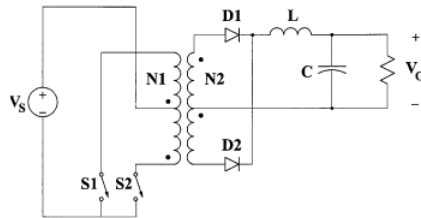


Imagen 65 Topología Push-Pull básica.

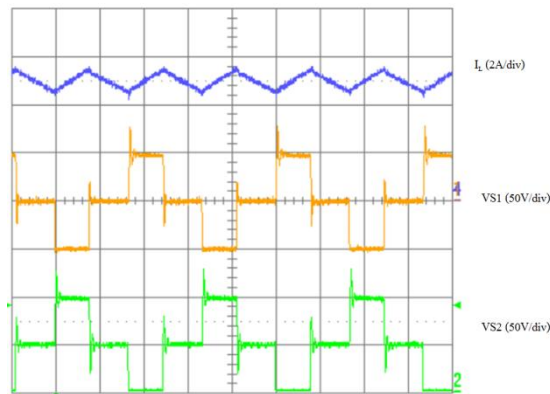
Fuente: Power Electronics HandBook, Muhammad H. Rashid (2001) , Academic Press [21]

El funcionamiento básico de este convertidor consiste en la conmutación de ambos *switches* S1 y S2 en oposición de fase y con el mismo ciclo de trabajo D. Dicho ciclo debe ser menor de 0,5 para evitar solapes; sólo un *switch* debe estar cerrado al mismo tiempo (sin embargo los dos pueden estar en off a la vez). Cuando S1 está en *on* el diodo D1 conduce y D2 está en corte, invirtiéndose el funcionamiento cuando S2 está en *on*. Cuando ambos están en abiertos los diodos conducen y comparten de manera equitativa la corriente. Para calcular la fuente tensión de salida:

$$V_o = 2 * V_s * D * \frac{N_2}{N_1}$$

Estos convertidores son aislados mediante un transformador, lo cual se debe principalmente a tres motivos [24]:

- Seguridad: en general se pretende proteger la etapa de salida DC de bajo voltaje de la fuente para evitar el riesgo de descarga eléctrica.
- Diferentes referencias: en muchos circuitos es necesario utilizar diferentes referencias de potencial.
- Ajuste de tensión: para evitar la utilización de grandes corrientes y tensiones en semiconductores por motivos tanto económicos como funcionales se muestra útil la utilización de transformadores que permitan el escalado de dicha tensión.



Gráfica 42. Formas de onda convertidor Push – Pull.

Fuente: Texas Instruments; LM5030 Applicaton Note DC-DC converter utilizing the Push-Pull topology [22]

De vuelta a la tarjeta, los transistores Mosfet tienen un *snubber* RC y para la inductancia del transformador se tiene otro a base de transil y diodos. La fuente de la tarjeta estudiada trabaja a 300 kHz y los Mosfets utilizados son de 55 Vdc y 3.8 A (valores máximos). Los transformadores utilizados poseen dos devanados en el primario y un devanado secundario.

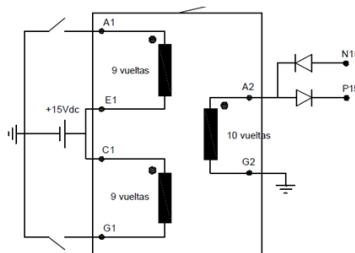


Imagen 66. Esquema del transformador fuente Push-Pull [13]

Al ser la relación de vueltas 9 a 10 se tendrán algo más de 15 V a la salida, lo cual se hace para compensar la tensión que cae en los transistores de salida que atacan a puertas de los IGBTs.

A la salida del convertidor se tienen unos condensadores para estabilizar la tensión y proporcionar le pico de corriente especificado.

Comunicación

Para la recepción del disparo a través de fibra óptica se tienen dos receptores que cuentan con inmunidad ante ruido. Estos se alimentan a través de un diodo Zener de 5V pero su salida es de colector abierto y queda polarizada a 15 V generados por el convertidor DC/DC. Al llegar al receptor un pulso de fibra óptica se tendrá una salida de 15 V, mientras que cuando no se recibe pulso se tienen 0 V.

El circuito de transmisión de error está diseñado para emitir luz de error cuando todo esté correcto y cuando se registra algún error se deja de emitir.

Como se ha indicado anteriormente existen dos señales de error, fallo alimentación y detección de cortocircuito. Una parte del circuito es la encargada de implementar una lógica de detección e inhabilitamiento del driver durante la detección de cortocircuito. Para el fallo por alimentación insuficiente se emite señal de error pero no se elimina la señal de disparo como en el caso de cortocircuito.

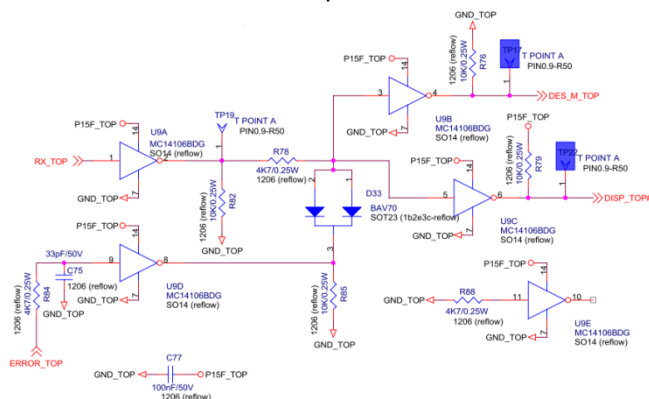


Imagen 67. Esquema circuito lógico transmisión tarjeta Drivers [13]

El funcionamiento básico de este circuito es el de generar los disparos para el ataque a los IGBTs e interrumpir su funcionamiento durante un tiempo determinado cuando se detecta cortocircuito. Dicha señal de fallo por cortocircuito es ERROR.

Disparo puerto IGBT

Se utilizan varias etapas amplificadoras para conseguir los 64 A necesarios. Esta corriente es la requerida para conmutar los IGBTs a una velocidad alta de manera que se reduzcan las pérdidas de conmutación. Para ello se utilizan 4 transistores en paralelo de 16 A pico. Se utiliza primero un buffer amplificador el cual gobierna un montaje de transistores n-mos y p-mos.

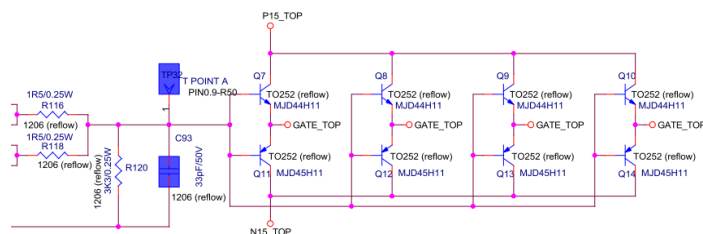


Imagen 68. Circuito disparo puerta IGBT [13]

Para el sistema soft shut down descrito anteriormente se dejan los mosfets abiertos y se consigue que la tensión de puerta se descargue a través de R120 lentamente.

3.3.6.2. Planteamiento

En el presente apartado se detalla el ensayo HALT realizado sobre la tarjeta drivers para el modelo *MonoBlock*. Durante el mismo se medirán principalmente tensiones de alimentación, señales de disparo para transistores y señales de emisión/recepción de fibra óptica.

Para la realización de las pruebas se requerirá la utilización de una tarjeta de drivers y dos tarjetas de conexión. Asimismo será necesaria la utilización de una tarjeta de test, cuya función es la generación de pulsos para ser transmitidos por fibra óptica (tiene diferentes configuraciones y se implementará la adecuada para esta prueba).

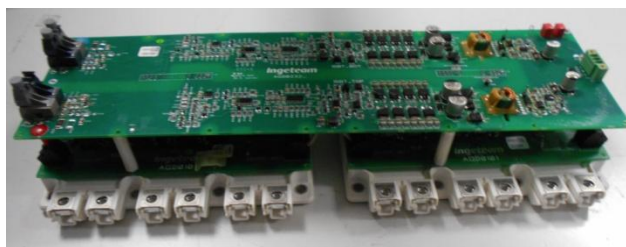


Imagen 69. Tarjeta de drivers junto con tarjeta de conexión e IGBTs.

El presente ensayo consiste de dos partes diferenciadas; ensayo funcional y ensayo de monitorización continua. En los apartados siguientes se detalla cada uno de ellos, así como la metodología utilizada.



Imagen 70. Tarjeta de prueba AAS7909.

Además de las tarjetas descritas anteriormente, para la realización del ensayo será necesario el siguiente equipamiento:

- Osciloscopio
- Sonidas de tensión aislada
- Multímetros
- Registrador de datos
- Sonidas de temperatura ambiente
- Fuente de alimentación 15 Vdc y corriente de salida de al menos 1 A
- Conexión a red 230 Vac
- Conectores y cables necesarios

3.3.6.2.1. Ensayo funcional

En general esta parte de la prueba consiste en la comprobación del correcto funcionamiento durante el ensayo HALT de semiconductores, entradas y salidas digitales, activaciones de relés, captaciones etc.

El procedimiento consiste en que, una vez realizado cada salto de temperatura y estabilizada la lectura, se realicen las comprobaciones y medidas pertinentes. A continuación se detallan cada una de ellas:

- Tensión de salida fuente Push-Pull: se comprueba el valor de tensión entregada por la fuente, la cual genera $\pm 15V$. Se medirá dicha tensión en cada salto de temperatura, tras la estabilización. Para medir esta tensión se puede utilizar el punto de test TP8 (GND_BOT) para medir tensión negativo o positiva en terminales de D15 y D17 respectivamente. Otra opción es monitorizar el valor de tensión entre P15_TOP y N15_TOP. Se utilizará esta última opción. Se toleran variaciones entre 15,5 V y 17,5 V para la tensión negativa y de 15 V a 16,8 V para la tensión positiva.
- Choppeada en primario de fuente de alimentación: se plantea la visualización de dicha señal por medio de un osciloscopio con el fin de monitorizar su forma, valores máximos, mínimo, frecuencia, valor rms o *Duty*. Esta señal puede ser medida utilizando TP3, TP4, TP5 o TP6 dependiendo de qué rama se analice (se utiliza como referencia GND_P disponible en TP1). La forma de onda debe ser una cuadrada de amplitud 30 V con un *Duty* ligeramente inferior al 50%, de cómo mínimo 48%. La frecuencia ha de ser medida y se debe confirmar que se encuentra dentro de un rango de 132 a 158 kHz.
- Inspección visual LEDs: tras la estabilización se asegurará que los LEDs indicadores de las tensiones de alimentación se encuentran operativos. Estos dispositivos indicarán el correcto funcionamiento de tanto la alimentación de 15 V de la tarjeta (que se puede llevar desde la toma de +15V de la tarjeta AAS 7909 o desde una fuente Topward del laboratorio). Se comprueba de manera visual el encendido de los LEDs D2, D8 Y D14.
- Recepción de disparo de fibra óptica: es preciso asegurar la recepción del disparo de fibra óptica del dispositivo. Se recuerda que la señal de fibra se generará en la tarjeta de test y a través de los conectores U15 y U17 llegará hasta la tarjeta de drivers. Se mide la señal RX_TOP o RX_BOT la cual debe ser una onda cuadrada de -15 y 0V con un pequeñísimo retardo respecto a la emitida por la tarjeta de test. En cada salto y tras la estabilización se visualizará dicha tensión mediante un osciloscopio y se monitorizarán los valores máximos, mínimos y su frecuencia. Se comparará con la onda emitida desde la tarjeta de test. Dicha tensión se mide en terminales de C56.
- Disparo de puerta IGBT: configurando adecuadamente la tarjeta de test para que emita trenes de pulsos cuadrados con una frecuencia de aproximadamente 3,4 kHz. Para ello es necesario configurar los *switches* de la siguiente manera:
 - SW1 en posición ON
 - SW2 en posición LUZ
 - SW3, SW4 y SW5 no se utilizan.

Tras ello es necesario conectar mediante un cable de fibra óptica el emisor U3 de la tarjeta de test y el conector U15 de la tarjeta de drivers (se podría hacer también con U16 para monitorizar el disparo en rama BOT).

Además de visualizar la forma de onda, se monitorizan sus valores máximos, mínimos y frecuencia. Se debe tener en cuenta que la forma de onda medida, al contrario que los pulsos emitidos desde la tarjeta de test deben ser de una tensión de $\pm 15V$. En el presente ensayo se medirá la señal de tensión en terminales del transil D9, siendo válidos D7 o D5 para esa misma rama.

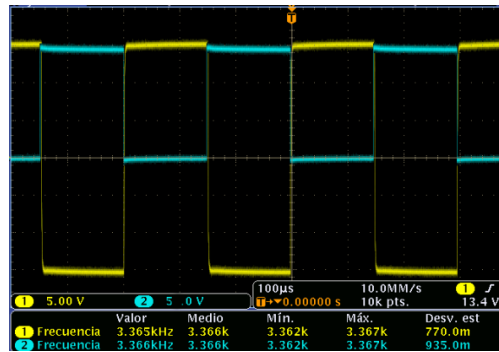


Imagen 71. Capturas disparo puerta IGBT.

En azul, onda cuadrada generada por tarjeta de test y en amarillo, tren de pulsos de disparo de puerta.

- Retardo señales de disparo: se considera importante la medida del retardo entre la señal de referencia generada en la tarjeta de test y la señal de disparo de puerta de IGBT (en tarjeta de conexión; apartado anterior). Como ambas señales ya son medidas mediante osciloscopio en esta prueba para medirla este retardo se utilizarán los cursores del mismo.

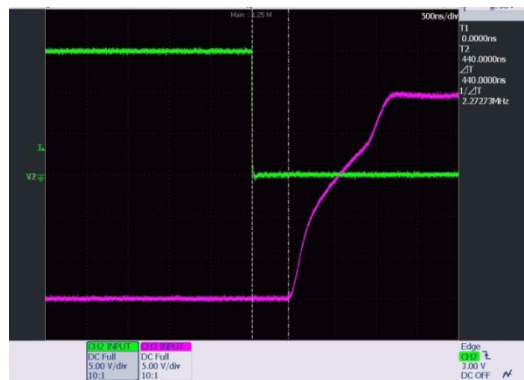


Imagen 72. Diferencia de tiempos pulsos sincronización.

En verde, señal de referencia de AAS7909 y en rosa señal de disparo de puerta en AAV0002.

Se debe comprobar que al comenzar el flanco de subida de la tensión en D9, la cual encenderá el IGBT, la diferencia de tiempos con el flanco de bajada de la cuadrada generada en tarjeta de test debe ser como máximo de 600 ns. Lo mismo se realizará con el flanco opuesto. En definitiva se mide la diferencia de tiempo entre los cambios de la señales, teniendo en cuenta que están en contrafase.

- Corriente consumida: dicha corriente se medirá tanto en el *display* de la fuente utilizada como mediante un polímetro. Cabe destacar que en el funcionamiento normal del equipo dicha alimentación viene dada por otra tarjeta, pero para este ensayo es necesario contar con una fuente externa variable para poder modificar los valores de tensión entregados.

- Error de alimentación: en esta tarjeta hay dos señales de importancia que disparan la señal de error; fallo de cortocircuito y fallo de alimentación. Dicha señal de error se habilita el disparo de dos transmisores de fibra óptica, U17 y U18 (uno por rama). El circuito está diseñado para dar este error cuando la alimentación esté por debajo de 12,8V (tensión insuficiente). A través de una serie de compuertas lógicas y otros componentes se implementa un circuito que en caso de cortocircuitos inhabilita el disparo y en caso de la alimentación entrega señal de error pero no elimina disparo.

En este apartado se medirá la tensión de la fuente de alimentación a partir de la cual salta la señal de error (FA ALIM TOP), lo cual medirá el funcionamiento del apartado lógico del circuito. Del mismo modo se medirá valor de tensión de dicha señal, evaluando los límites en el funcionamiento del optoacoplador.

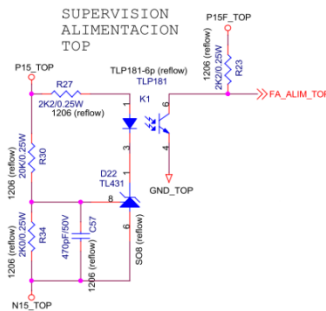


Imagen 73. Circuito fallo alimentación tarjeta drivers [13]

Para provocar este fallo, en cada salto térmico y tras la estabilización se descenderá la tensión de la fuente poco a poco hasta que se observe que la señal pasa a estado de alto. Para medirlo se utilizará un multímetro.

- Error de disparo: como se ha descrito, existe una lógica que hace que se deje de emitir luz cuando se tiene un error en la tarjeta, ya sea por alimentación insuficiente o por cortocircuito. En el anterior apartado se medía el fallo de alimentación, y en este se mide “aguas arriba” en la transmisión de la señal de error en el circuito de polarización del transmisor de fibra óptica.

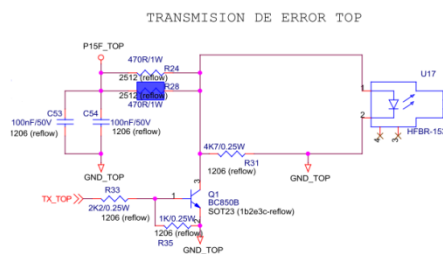


Imagen 74. Circuito transmisión de error tarjeta drivers [13]

Para medir esta señal se medirá la tensión entre el colector de Q1 (para rama TOP, Q2 en rama BOT) y la masa correspondiente (GND_TOP en caso de medir rama TOP). Tras descender la tensión de alimentación como se indica en el apartado anterior se medirá esta tensión mediante un multímetro, que será cercana a cero cuando se tenga error.

- Temperaturas: como no podía ser de otra manera es necesario monitorizar la temperatura en este ensayo. Se utilizarán tres termopares tipo T, uno en cada tarjeta y otro para medir la temperatura ambiente.

3.3.6.2.2. Ensayo de monitorización continua

Mediante este test, se obtiene información acerca de los valores que toman las distintas variables adquiridas por el registrador de datos a lo largo del tiempo según se varía la temperatura. Este se lleva a cabo de forma simultánea a las pruebas CSS y HSS.

Se tomarán medidas cada 20 segundos mediante un osciloscopio y los datos serán analizados in-situ pero serán tratados y analizados posteriormente.

- Tensión de alimentación: de modo que se tenga un seguimiento de las variaciones de tensión de alimentación de la fuente que se detallan en el apartado 3.3 se muestra necesario realizar una monitorización de la misma.
- Tensión Choppeada Push-Pull: además de la visualización de esta onda mediante un osciloscopio se monitorizará de manera continua la frecuencia de la misma.

- Tensión generada por fuente Push-Pull: se medirá tanto la tensión positiva (P15_TOP para la rama TOP) como la tensión P15 – N15 (positivo a negativo).
- Disparo puerta IGBT: de la misma manera que en el apartado 3.4.2 se mide la frecuencia de la onda de disparo de puerta de IGBT. Además esta forma de onda se visualizará mediante osciloscopio.
- Polarización receptor de fibra óptica: para alimentar el receptor de fibra óptica se utiliza un diodo Zener que acomoda la tensión de 15 V generados por la fuente Push-Pull (tras filtro) a 5 V. Esto es un indicador necesario para conocer el correcto funcionamiento del circuito.

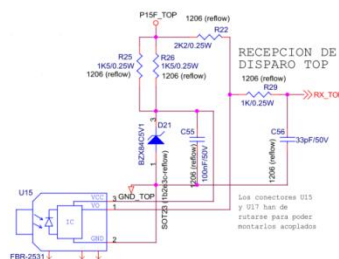


Imagen 75. Recepción disparos tarjeta conexión drivers a IGBT [13]

- Transmisión de error: del mismo modo que en el apartado 3.3.9, además del valor de esta señal en cada estabilización, se monitoriza de manera continua para poder estudiar posteriormente su relación con la variación de tensión de alimentación.
- Fallo alimentación: análogamente al apartado 3.3.8, además del valor de esta señal en cada estabilización, se monitoriza de manera continua para poder estudiar posteriormente su relación con la variación de tensión de alimentación.
- Temperaturas: como en todos los ensayos, se monitoriza la temperatura de las PCB y del ambiente con sensores de temperatura.

3.3.6.3. Resultados

Se han realizado ensayos CSS y HSS sobre las tarjetas de drivers y de conexión a IGBTs en la cámara climática del laboratorio de Ingeteam en Sarriguren. A continuación se muestra la bancada de ensayos:



Imagen 76. Disposición bancada de ensayos ensayo tarjeta drivers.

Para el ensayo es necesario utilizar la tarjeta de prueba de test, la cual proporciona una doble salida por fibra óptica de un tren de pulsos de luz de 0,5 de ciclo de trabajo y con una frecuencia aproximada de 3,4 kHz. Dicha tarjeta también posee una doble salida de un tren de pulsos de tiempo variable (desde 10 microsegundos hasta 200 microsegundos), además estas salidas son capaces de entregar luz de manera continua y de no darla. Ni estas funcionalidades ni la fuente de 15V - 25W se utilizan durante la prueba.

3.3.6.3.1. Ensayo funcional

En el presente apartado se presentan los resultados correspondientes a los test funcionales, correspondientes a los ensayos HSS y CSS, realizados después de cada escalón de temperatura y tras la estabilización de la misma. Una vez realizados los ensayos se realizará el cálculo de las desviaciones en cada punto del test funcional. Como el objetivo es comprobar la desviación debido exclusivamente al incremento de temperatura, se realiza la diferencia entre el máximo y mínimo obtenidos.

El porcentaje de variación ha sido calculado como:

$$Desviación(\%) = \frac{Medida\ realizada - Valor\ esperado}{Valor\ esperado} * 100$$

Y la variación de la misma:

$$\Delta Desviación(\%) = Max(\%) - Min(\%)$$

Siendo Max (%) y Min (%) los porcentajes de las variaciones máximas y mínimas respectivamente.

3.3.6.3.1.1. Ensayo HSS

Tarjeta :		Drivers + t. conexión HSS												
Hora		9:50	10:10	10:50	11:20	11:30	11:55	12:20	12:55	16:50	17:50	18:10	18:30	19:05
Ambiente	Consigna temperatura (°C)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
	Temperatura cámara (°C)	29,72	31,19	42,32	50,43	58,80	68,63	77,19	86,3	97,53	106,68	115,57	121,92	-
	Temperatura PCB1 (°C)	25,92	27,47	39,96	47,90	55,10	66,03	74,84	83,65	96,21	105,80	112,56	119,53	-
	Temperatura PCB2 (°C)	23,07	23,88	35,58	42,58	48,94	59,81	68,63	76,35	89,16	98,69	108,28	114,72	-
Medidas	Corriente fuente (A)	0,71	0,71	0,70	0,70	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,70	0,49	0,94	-
	Chop_PUSH-PULL max (V)	32,4	31,8	32,1	32,1	31,9	31,6	31,6	31,6	31,4	31,6	31,6	-	-
	Chop_PUSH-PULL min (V)	-1,20	-1,20	-1,00	-0,85	-0,60	-0,40	-0,40	-0,70	-0,80	-0,40	-0,40	-	-
	Chop_PUSH-PULL frecuencia (kHz)	146,80	146,80	146,82	146,75	146,70	146,60	146,66	146,50	146,35	146,25	146,30	-	-
	Chop_PUSH-PULL rms (V)	21,90	21,70	21,90	21,73	21,21	21,50	21,50	21,14	21,2	21,8	21,26	-	-
	GateIGBT max (V)	16,00	16,20	16,20	16,30	16,20	16,20	16,40	16,40	16,40	16,50	-	-	-
	GateIGBT min (V)	-16,40	-16,60	-16,60	-16,80	-16,80	-16,20	-16,80	-16,80	-16,80	-16,4	-	-	-
	GateIGBT frecuencia (Hz)	3,59	3,59	3,60	3,60	3,61	3,61	3,61	3,60	3,60	3,61	-	-	-
	Recepción disp. top max (V)	15,70	15,70	15,60	15,70	15,60	15,70	15,70	15,70	15,60	15,80	16	-	-
	Recepción disp. top min (V)	0,00	0,10	0,20	0,20	0,20	0,20	0,30	0,30	0,20	0,40	0,40	OK	OK

	Recepción disp. frecuencia (kHz)	3,59	3,59	3,60	3,60	3,61	3,61	3,61	3,60	3,60	3,61	-	-	-
	Fallo alim voltaje (V)*	12,90	12,90	12,90	12,70	12,70	12,80	12,70	12,60	12,40	12,70	-	-	-
	Fallo alim lectura multímetro (V)*	6,97	7,01	6,98	6,99	7,00	7,04	6,96	6,98	6,99	0,92	-	-	-
	Error disp. top (V)	0,082	0,082	0,084	0,085	0,086	0,089	0,088	0,091	0,094	0,096	1,45	-	-
	Supervisión alimentación (V)	31,98	31,44	31,52	31,1	31,50	32,03	31,53	31,47	31,56	31,56	32,48	4,5	-
	Retardo encendido (ns)	570	595	596	600	630	635	660	667	675	690	-	-	-
	Retardo apagado (ns)	465	485	492	504	527	534	555	563	575	588	-	-	-
	LED D2	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	LED D8	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO OK	NO OK	NO OK
	LED D14	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO OK	NO OK	NO OK
	TEST(OK/ NO OK)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO OK	NO OK	NO OK

Tabla 43. Ensayo funcional HSS t. drivers + t.conexión

* La tensión fallo alim. voltaje es la tensión de alimentación a partir de la cual la tarjeta da error de alimentación. Fallo alim lectura multímetro indica el valor de tensión de la señal de fallo cuando éste se produce.

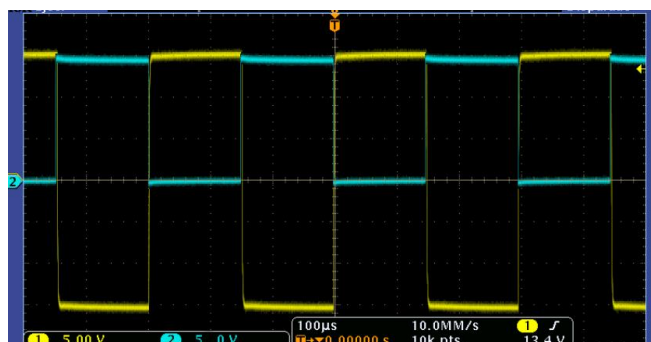


Imagen 77. Captura de osciloscopio ensayo HSS.

Se aprecia el tren de pulsos en D9 (± 15 V) y el de la tarjeta de test, onda cuadrada de 0 a 15 V

A partir de la referencia de 120°C se apreciaron diversas faltas en la tarjeta. Se dejaron de tener pulsos en la puerta del IGBT (señal Gate_IGBT), así como en la recepción de la tarjeta de drivers. Otra falta encontrada fue que no se produjo detección de fallo por alimentación insuficiente. Posteriormente en este documento se analizarán con detalle dichas faltas.

Drivers + t. conexión HSS																	
HORA		9:50	10:10	10:50	11:20	11:30	11:55	12:20	12:55	16:50	17:50	18:10	18:30	19:05	MAX (%)	MIN (%)	Δ (%)
DESVIACION (%)																	
DESVIACIÓN (%)	Consigna t³ (°C)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	-	-	-
	T³ PCB1	25,92	27,47	39,96	47,9	55,1	66,03	74,84	83,65	96,21	105,8	112,56	119,53	-	25,92	27,47	39,96
	Corriente fuente (A)	1,43	1,43	0,00	0,00	-1,43	-1,43	-1,43	-1,43	-1,43	0,00	-30,00	34,29	-	34,29	-30,00	64,29
	Chop_PUS H-PULL frecuencia (kHz)	1,24	1,24	1,26	1,21	1,17	1,10	1,14	1,03	0,93	0,86	0,90	-	-	1,26	0,86	0,39
	Recepción disp top frecuencia (kHz)	2,57	2,57	2,86	2,86	3,14	3,14	3,14	2,86	2,86	3,14	-	-	-	3,14	2,57	0,57
	*GateIGBT frecuencia (kHz)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-	0,00	0,00	0,00
	Supervisión alimentació n(V)	3,16	1,42	1,68	0,32	1,61	3,32	1,71	1,52	1,81	1,81	4,77	-85,48	-	4,77	-85,48	90,26
	Retardo (ns)	-5,00	-0,83	-0,67	0,00	5,00	5,83	10,00	11,17	12,50	15,00	-	-	-	15,00	-5,00	20,00
	TEST OK/NO OK	OK	OK	OK	OK	NO OK (sólo retard)	NO OK (sólo retard)	NO OK (sólo retard)	NO OK (sólo retard)	NO OK (sólo retard)	NO OK (sólo retard)	NO OK	NO OK	NO OK	NO OK	NO OK	NO OK

Tabla 44. Ensayo funcional HSS t. drivers + t.conexión

*Medido como valor porcentual respecto a la frecuencia de recepción de disparo top

** Se muestra valor porcentual respecto al máximo admitido de 600 ns. Cualquier valor por debajo será correcto.

El consumo de corriente de la tarjeta se mantiene dentro de unos márgenes aceptables del $\pm 1,5\%$ dentro del rango de 20°C – 100°C. A partir de ahí se comienzan a producir faltas que alteran el consumo de corriente, llevándolo muy por encima o por debajo del consumo nominal, lo cual se puede observar en los valores porcentuales MAX y MIN. La frecuencia de la recepción del disparo de fibra óptica se mantiene dentro del rango aceptable de 3,4 a 3,6 kHz, así como los pulsos de disparo de puerta (GateIGBT).

Cabe destacar que tras llevar la temperatura de la PCB a 115 °C, comienzan a detectarse faltas. Se procedió a descender la temperatura hasta una en la que no se acusó falta; 100°C. Se comprobó que la tarjeta no se recuperaba y se comprueba que se causó daño permanente en el dispositivo. En apartados posteriores se analizarán cada uno de estos fallos.

3.3.6.3.1.2. *Ensayo CSS*

Tarjeta : Drivers + t. conexión CSS								
Hora		9:50	10:10	10:50	11:20	11:30	11:55	12:20
Ambiente	Consigna temperatura (°C)	20	10	0	-10	-20	-30	-40
	Temperatura cámara (°C)	29,72	12,94	5,34	-4,84	-14,09	-18,53	-21,95
	Temperatura PCB1 (°C)	25,92	14,63	6,27	-4,19	-14,09	-18,51	-21,95
	Temperatura PCB2 (°C)	23,07	13,05	5,23	-4,76	-14,52	-19,16	-23,11
Medidas	Corriente fuente (A)	0,71	0,73	0,74	0,74	0,75	0,76	0,77
	Chop_PUSH-PULL max (V)	32,4	32,4	32,4	32,5	32,7	31,9	30,8
	Chop_PUSH-PULL min (V)	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,2	-0,8	-0,8
	Chop_PUSH-PULL frecuencia (kHz)	146,8	147,03	147,02	147,15	147,2	147,25	147,36
	Chop_PUSH-PULL rms (V)	21,9	22,04	22,14	21,80	21,95	21,83	21,05
	GatelGBT max (V)	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00
	GatelGBT min (V)	-16,4	-16,4	-16,4	-16,2	-16,4	-16,4	-16,2
	GatelGBT frecuencia (Hz)	3,59	3,60	3,60	3,60	3,60	3,61	3,61
	Recepción disp. top max (V)	15,70	15,60	15,50	15,40	15,60	15,50	15,50
	Recepción disp. top min (V)	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,01	0,01
	Recepción disp. frecuencia (kHz)	3,59	3,60	3,61	3,59	3,60	3,61	3,61
	Fallo alim voltaje (V)	12,9	12,7	12,8	12,8	12,9	12,8	12,9
	Fallo alim lectura multímetro (V)	12,90	12,70	12,80	12,80	12,90	12,80	12,90
	Error disp. top (V)	0,082	0,078	0,077	0,075	0,073	0,074	0,070
	Supervisión alimentación (V)	31,48	31,58	31,35	31,34	31,34	31,41	30,18
	Retardo encendido (ns)	598	580	560	570	550	550	550
	Retardo apagado (ns)	465	448	425	430	405	405	405
	LED D2	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	LED D8	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	LED D14	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
TEST(OK/ NO OK)		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

Tabla 45. Ensayo funcional CSS t. drivers + t.conexión

Drivers + t. conexión CSS											
HORA		9:50	10:10	10:50	11:20	11:30	11:55	12:20	MAX (%)	MIN (%)	Δ (%)
DESVIACIÓN (%)											
DESVIACIÓN (%)	Consigna tª (°C)	20	10	0	-10	-20	-30	-40	-	-	-
	Tª PCB	19,37	8,85	-0,96	-11,82	-21,06	-26,60	-28,71	-	-	-
	Corriente fuente (A)	1,43	4,29	5,71	5,71	7,14	8,57	10,00	10,00	1,43	8,57
	Chop_PUSH -PULL frecuencia (kHz)	1,24	1,40	1,39	1,48	1,52	1,55	1,63	1,63	1,24	0,39
	Recepción disp top frecuencia (kHz)	2,57	2,86	2,86	2,86	2,86	3,14	3,14	3,14	2,57	0,57
	*Gate/GBT frecuencia (kHz)	0,00	0,00	0,01	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	-0,01	0,02
	Supervisión alimentación (V)	1,55	1,87	1,13	1,10	1,10	1,32	-2,65	1,87	-2,65	4,52
	Retardo (ns)	-0,33	-3,33	-6,67	-5,00	-8,33	-8,33	-8,33	-0,33	-8,33	8,00
	TEST OK/NO OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

Tabla 46. Ensayo funcional CSS t. drivers + t.conexión

*Medido como valor porcentual respecto a la frecuencia de recepción de disparo top

** Se muestra valor porcentual respecto al máximo admitido de 600 ns. Cualquier valor por debajo será correcto.

El consumo de corriente (medido desde la fuente de 15 V que alimenta la electrónica) acusa un comportamiento ascendente con el descenso de temperatura, a un aumento del 10% respecto al consumo a los 20 °C. Se analizará con más detenimiento en el apartado 3 del presente documento.

Otra prueba adicional que se realizó es la del arranque a una temperatura de -30°C. Esto simula una situación desfavorable y factible durante el funcionamiento normal del equipo. El equipo nunca trabaja a esas temperatura tan bajas debido a que el propio calor generado por eleva la temperatura ambiente y la propia. El arranque se produjo de forma correcta.

3.3.6.3.2. Resultados de la monitorización continua

Tras realizar la monitorización de los diferentes parámetros de interés del circuito se muestran los resultados. En ellos se muestra el porcentaje de error máximo a lo largo de todo el ensayo.

3.3.6.3.2.1. Ensayo HSS

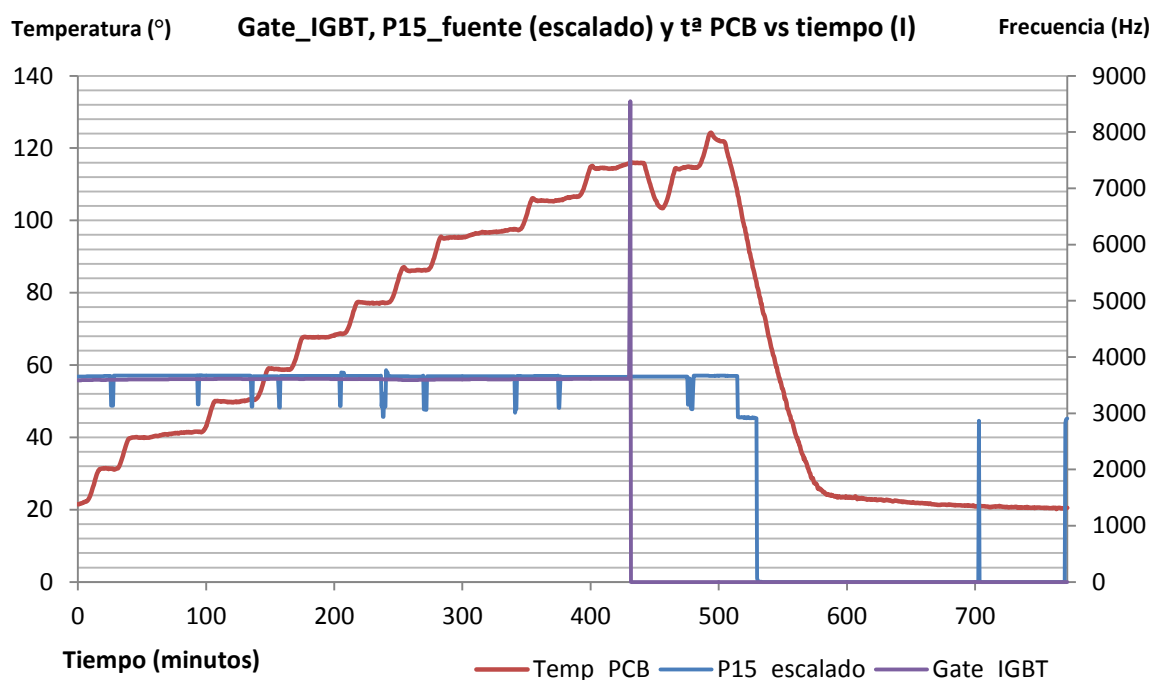
Se parte de 20 °C y se va incrementando la temperatura en intervalos de 10°C hasta los 140°C de consigna de la cámara climática (en realidad no llega a alcanzarlos). En la siguiente tabla se recogen los valores absolutos de máximos y mínimos durante el ensayo.

Tarjeta : drivers + conexión HSS				
		Error Max	Error Min	Δ Error
Medidas	Alim15_D16	16,53	12,71	3,82
	Superv_alim	32,46	25,33	7,13
	Pol_disp_fibra	5,25	5,13	0,12
	Chop_PUSH-PULL	148328,15	146074,62	2253,53
	Gate_IGBT	3613,82	3585,25	28,56
TEST(OK/ NO OK)		OK	OK	OK

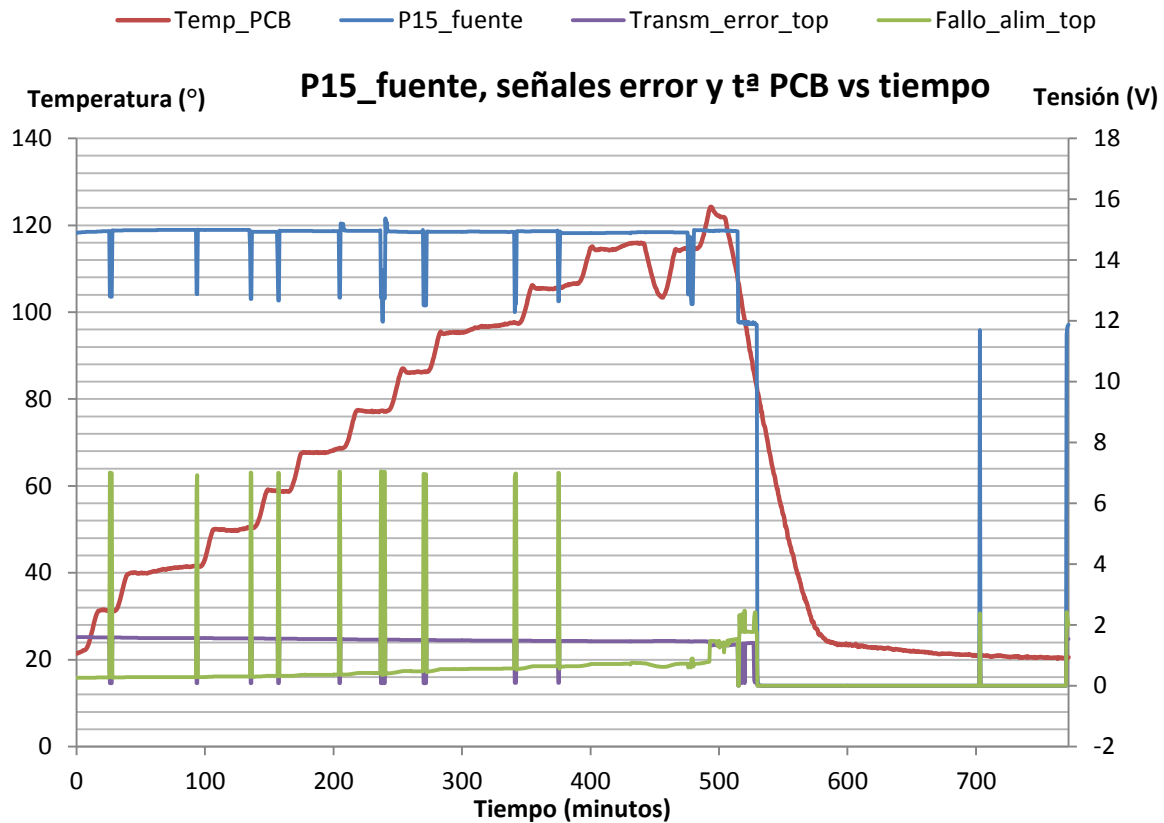
Tabla 47. Ensayo monitorización HSS tarjeta drivers + conexión

Cabe destacar que se han utilizado los valores de las lecturas hasta 110°C debido a que en este momento se producen faltas que impiden el correcto funcionamiento de la tarjeta. Esto se realiza a fin de estudiar la evolución de las variables y señales con la temperatura, así que se descartan los valores para los cuales los componentes se encuentren dañados. Dichos comportamiento errático será analizado en el siguiente apartado.

Para comprender el comportamiento y la evolución de los distintos parámetros se han elaborado una serie de gráficas que sirven de apoyo para un mejor y más detallado análisis, especialmente de las faltas y su identificación. Dichas gráficas se muestran a pueden consultar en el apartado 5.1 del Anexo I.



Gráfica 43. T. drivers HSS: Gate_IGBT, P15_fuente (escalado 1/245) y T^a vs tiempo



Gráfica 44. T. drivers HSS: Señales error, P15_fuente y Tª vs tiempo

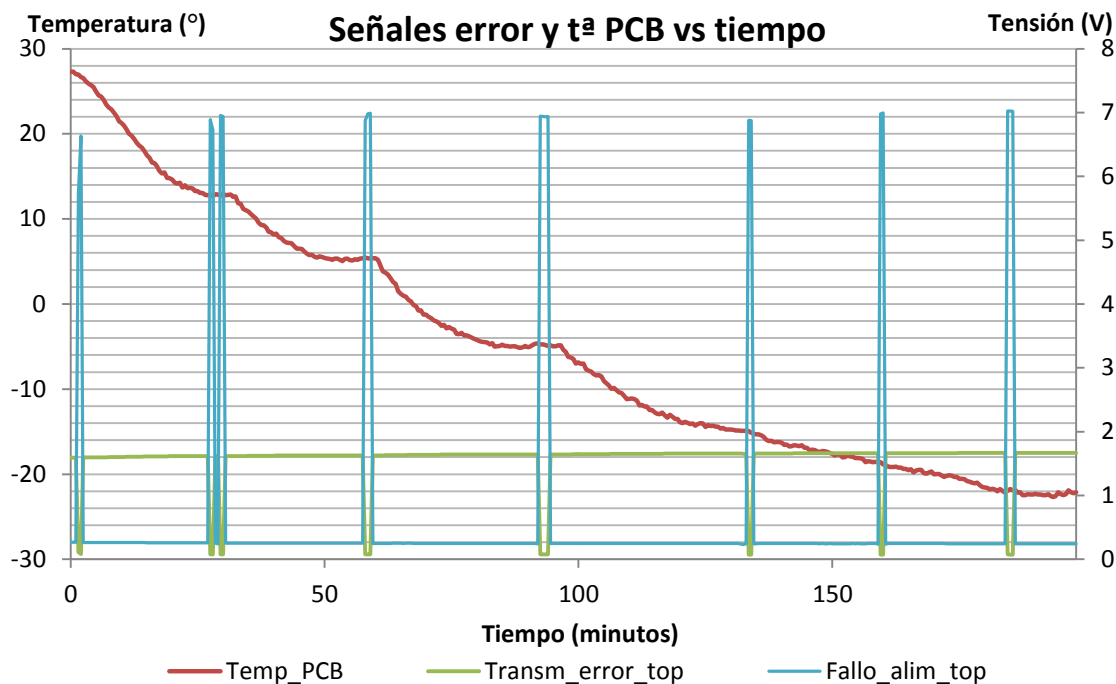
3.3.6.3.2.2. Ensayo CSS

Se comienza el ensayo a 20 °C y se va incrementando la temperatura en intervalos de 10°C hasta los 140°C de consigna de la cámara climática (en realidad no llega a alcanzarlos). En la siguiente tabla se recogen los valores absolutos de máximos y mínimos durante el ensayo.

Tarjeta :drivers + conexión				
		Error MAX	Error Min	Δ Error
Medidas	Alim15_D16	16,22	12,59	3,64
	Superv_alim	31,82	25,05	6,77
	Pol_disp_fibra	5,19	5,09	0,09
	Chop_PUSH-PULL	147986,64	146857,70	1128,94
	Gate_IGBT	3614,15	3595,65	18,50
TEST(OK/ NO OK)		OK	OK	OK

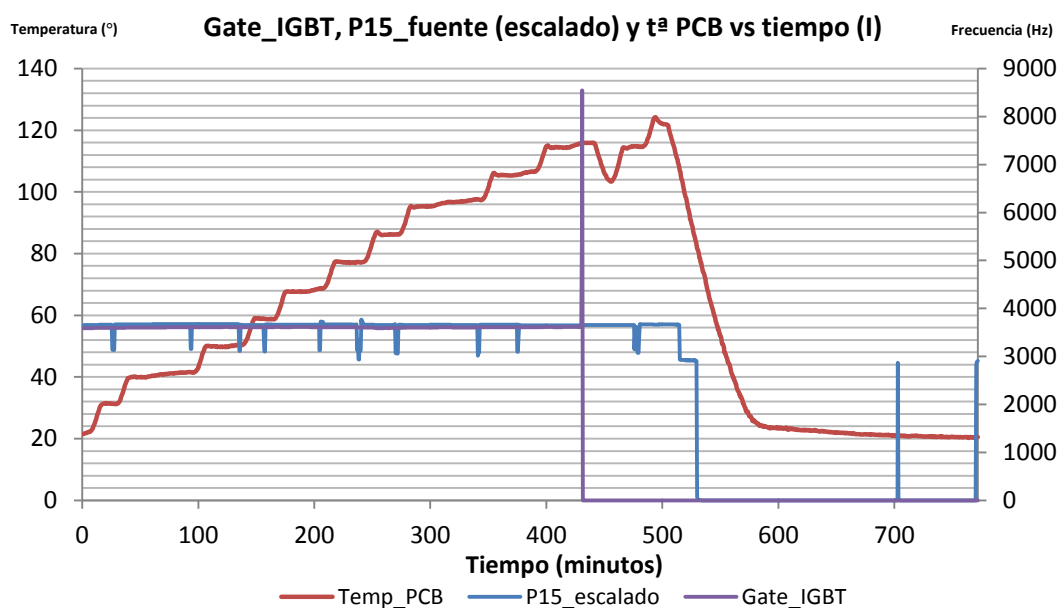
Tabla 48. Ensayo monitorización CSS tarjeta drivers + conexión

Del mismo modo que en el ensayo anterior y para comprender el comportamiento y la evolución de los distintos parámetros se han elaborado una serie de gráficas que sirven de apoyo para un mejor y más detallado análisis. Se aprovechó este ensayo para realizar el arranque del driver a una temperatura de - 30°C, el cual fue correcto. Dichas se pueden consultar en el apartado 5.2 del Anexo II.

Gráfica 45. T. drivers CSS: Señales error y T^a vs tiempo

3.3.6.3.3. Análisis de resultados

Como se puede observar en el apartado que cubre el ensayo funcional, así como en las gráficas mostradas en el Anexo II apartado 5, durante el ensayo HSS se aprecia diversas faltas y errores debidos al deterioro de los componentes de la tarjeta. Al detectarse el primero, que en este caso el fallo en la señal disparo de la puerta del IGBT (señal gate IGBT) a partir de 115°C se descendió la temperatura a una referencia anterior en la que no se dio error (100°C) y se esperó a la recuperación de la falta. Cabe destacar que esta señal, además de ser registrada con el *DataLogger* (frecuencia), fue monitorizada mediante osciloscopio.

Gráfica 46. T. drivers+ conexión HSS: Gate_IGBT, P15_fuente (escalado 1/245) y T^a vs tiempo

En la gráfica se aprecia el descenso y ascenso de temperatura, pero cabe destacar que durante ese intervalo se detuvo el ensayo y la adquisición de datos esperar a la estabilización. En este caso la falta no

se recuperó ya que el fallo siguió presente; en ese momento se continúa con el ensayo, reanudando la adquisición de datos. Al llegar hacia 120°C se dejó de obtener alarma debido a alimentación insuficiente durante el ensayo funcional, y también se dejó de recibir correctamente la señal de fibra óptica en la tarjeta de drivers (desde la tarjeta de pruebas que se encontraba en el exterior de la cámara). Se observa que la falta no se recuperó. Más adelante en este apartado se analiza.

A partir de este momento se comenzaron a detectar diversas faltas en distintos puntos de la tarjeta como la señal alimentación de 15 V en D16, la supervisión de la alimentación o la tensión *choppeada* de la fuente Push-Pull. A continuación se analizarán cada una de estas faltas. Tras el ensayo se disminuyó la temperatura hasta 20°C y se mantuvo durante 2 horas para que se enfriase correctamente. Tras ese tiempo las faltas se mantuvieron presentes.

Fallo fuente Push-Pull

A partir de 130°C de temperatura de referencia, una vez la tarjeta alcanzó 120°C se detectó un fallo en la fuente Push-Pull. La tensión entregada por la fuente queda monitorizada mediante la señal Superv _alim, la cual disminuye su valor hasta alrededor de 5V (en vez de 15V) tras llegar a los 123°C. Esta falta puede deberse a distintos motivos, los cuales se analizan a continuación:

- Fallo diodo Zener D15 y/o D17:

Según el fabricante, la temperatura máxima en la unión ($T_{juncion}$) es de 150°C y el rango de temperatura de almacenamiento es de -65°C hasta 150°C; a partir de estas temperaturas se causará daño permanente en el dispositivo. Debido a que no se monitorizó la temperatura de este componente específico no se puede descartar haber superado los 150°C. Se comprobará el funcionamiento de este componente en el laboratorio en prueba posterior.

- Fallo diodos D5, D17:

Según el fabricante, la temperatura máxima de funcionamiento son 150°C. Según el fabricante (Vishay), para una misma corriente, a mayor temperatura menor es la caída de voltaje directo en el diodo. Se comprobará si el dispositivo tiene daño permanente y si al deteriorarse ocasiona caídas mayores de tensión. De manera contraria no debería contribuir a la disminución de la tensión de salida de la fuente.

- Condensadores de salida:

El condensador EEEFK1E471P pertenece a una categoría con un rango de temperatura de -55°C a 105°C. El fabricante ha realizado ensayos a 105°C y asegura una duración de entre 2000 y 5000 horas para sus condensadores. En este caso las temperaturas han sido superiores y el fabricante no asegura el correcto funcionamiento de sus dispositivos a partir de 105°C. Se tendrá en cuenta en el análisis posterior.

- Transformador de salida L5 y L1: deterioro del núcleo por temperatura.

- Transistores Mosfet:

Se consulta la información dada por el fabricante del integrado correspondiente. De nuevo los límites térmicos se encuentra entre -55°C y 150°C. Según fabricante (IOR Rectifier), al aumentar la temperatura la resistencia aumenta, por tanto la corriente entregada será menor. Se analizará si este descenso de corriente ha podido ocasionar el mal funcionamiento de la fuente.

- Driver PWM PUSH-PULL:

El circuito integrado del driver se encarga de gobernar los disparos de puerta de los mosfet. Posee dos salidas las cuales conmutan a la mitad de la frecuencia de oscilación usando un flip-flop (consultar esquemático *datasheet*). El necesario tiempo muerto entre ambas salidas está típicamente entre 60 y 200 ns, dependiendo de los valores de los condensadores y resistencias de temporización, limitando de esta manera el *Duty cycle* en cada salida a menos del 50%.

La temperatura máxima este componente se encuentra es de 150°C, siendo 85°C el máximo recomendado por el fabricante.

La frecuencia del temporizador se calcula de la siguiente manera:

$$f_{oscilador} = \frac{1.4}{R * C}$$

El fabricante del condensador utilizado afirma que la variación en la capacidad del condensador puede ser del $\pm 15\%$ dentro de un rango de temperatura de -55°C hasta $+125^{\circ}\text{C}$. Para la resistencia se tiene que para un rango térmico de -55°C hasta $+155^{\circ}\text{C}$ se tiene una variación $\pm 100\text{ppm}$ por grado. Si se calcula para una temperatura de 120°C :

- Nueva R:

$$14300 \Omega \pm 100\text{ppm} * \Delta T = 14300 \Omega \pm 100 \frac{\text{ppm}}{^{\circ}\text{C}} * 100^{\circ}\text{C} = 14300 \Omega \pm 143 \Omega$$

Se calcula la máxima variación en la frecuencia del oscilador:

- $C = 330\text{pF} \pm 49,5\text{pF}$
- $f_{oscilador} = \frac{1.4}{(330-49,5)*10^{-12}\text{F}*(14300-143)\Omega} = 352553 \text{ Hz}$
- $f_{oscilador} = \frac{1.4}{(330+49,5)*10^{-12}\text{F}*(14300+143)\Omega} = 182445 \text{ Hz}$

Teniendo en cuenta que la frecuencia original del oscilador es de 296673 Hz, en ambas situaciones se tienen variaciones del $+18\%$ y -38% .

Tras este análisis, se acude al laboratorio para realizar las comprobaciones pertinentes; en el apartado *Protocolo de pruebas* se detallan dichas pruebas.

Fallo LEDs

La razón del fallo en los mismos puede ser atribuible al fallo en la fuente PUSH_PULL mediante la cual quedan polarizados. Todo apunta a ello debido al fallo encontrado en la tensión generada por dicha fuente así como el correcto funcionamiento del diodo D2 (mismo modelo). No obstante se verificará en una prueba posterior en el laboratorio (ver apartado *Protocolo de pruebas*).

Fallo disparo puerta IGBTs

Como se ha indicado anteriormente a partir de 120°C se dejó de monitorizar la onda de disparo de la puerta de los IGBTs medida entre terminales de D9 en la tarjeta de conexión a IGBTs.

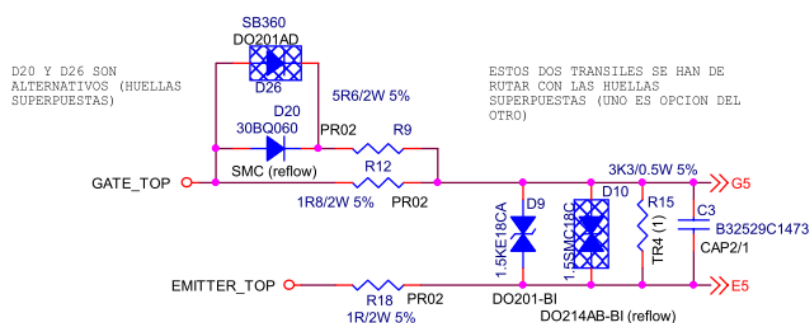


Imagen 78. Circuito disparo IGBT (tarjeta conexión) [13]

Una causa de la falta se atribuye al deterioro del cable de fibra óptica conectado al receptor U15, el cual se comprobó tras el ensayo que no funcionaba correctamente debido al deterioro de la cubierta (se aprecia fibra de interior). Información cable:

- Cable simplex HFBF 4503 de Avago: temperatura de trabajo de -40°C a 85°C .

Es de esperar un fallo en el cable al exceder su máximo de temperatura de trabajo en 25°C ; se comprueba que se tiene cierto margen de seguridad para este componente. En ningún momento se degrada por debajo de la temperatura del equipo; los márgenes operativos exceden las expectativas de diseño.

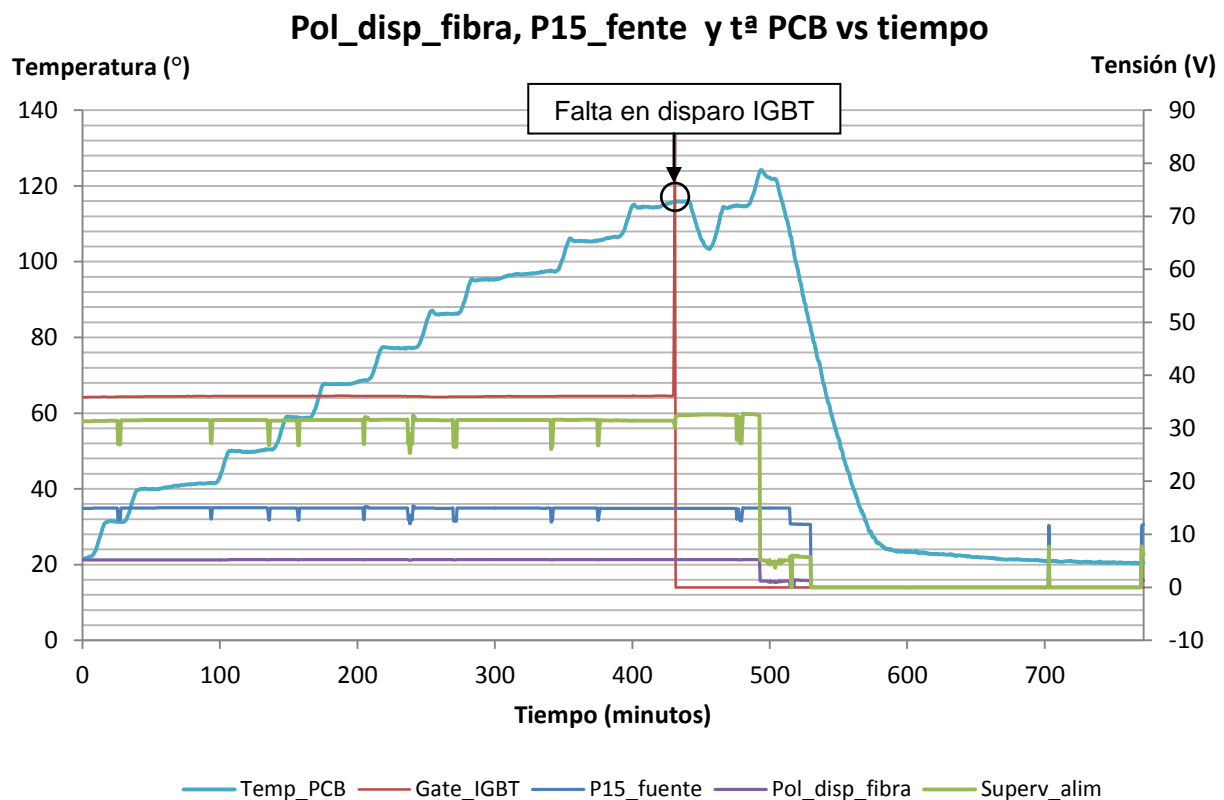


Imagen 79. Cable deteriorado fibra tras ensayo HSS tarjeta drivers

Para comprobarlo, en el momento en el que se detectó el fallo se verificó el estado del cable de fibra óptica; se constató que el pulso de luz no se transmitía correctamente. Se recuerda que la tarjeta de test, la cual emite los pulsos de luz, se encontró fuera de la cámara y en ningún momento se alteraron sus parámetros de funcionamiento; las tarjetas objetos del ensayo son la de drivers y la de conexión a IGBTs. Dicho fallo se apreció en un ensayo con otro cable de fibra óptica exactamente igual (ensayo ABK0074 Tarjeta conexión fibra óptica).

Adicionalmente se detectó un fallo posterior al mencionado anteriormente en la fuente Push-Pull, la cual suministra la alimentación de 15 V necesaria para el receptor de fibra, las distintas puerta lógicas, amplificadores y diversos integrados que habilitan el disparo de los IGBT. Por ello, es de esperar que se produzca fallo en la misma a partir de ese momento.

Al detectarse el fallo en el disparo en la fuente Push-Pull (señal Superv_alim) se observa que la tensión de polarización de fibra óptica decae por debajo de niveles admisibles (1V)



Gráfica 47. T. drivers + conexión HSS: polarización disparo de fibra, P15_fuente y Tª vs tiempo

Como se ha descrito anteriormente falta en la polarización del disparo de fibra se produce posteriormente al de disparo IGBT, por tanto se descarta que sea el motivo, sin embargo, una vez no se tiene tensión en ese punto, el receptor de fibra deja de operar correctamente.

No obstante se procederá al análisis detallado de esta falta el aguas abajo para determinar exactamente qué componentes han fallado en el siguiente apartado.

Retardo en flancos de subida

Durante el ensayo HSS se ha apreciado un aumento progresivo del retardo tanto en el encendido como en el apagado. Se recuerda que dicho retardo es el incluido por la electrónica y esto es de esperar debido a que la conmutación de transistores es más lenta cuanto mayor es la temperatura que trabajan.

Durante el diseño del circuito se estableció un cálculo de aproximadamente 600 ns para el retardo en la electrónica, y este se rebasa a partir de los 60°C. Esta temperatura es el límite en el que opera el equipo, pero es conveniente analizar el porqué de este valor. En la conmutación de IGBTs se establece un tiempo muerto entre el apagado de una rama y el encendido de otra; de lo contrario se produciría un cortocircuito. Para este dispositivo el tiempo muerto es de 2 μ s. La importancia del retardo medida reside en dicha conmutación de los IGBT; si excediese el valor de 2 μ s podría cortocircuitar las ramas.

En el ensayo se aprecia un retardo de máximo 690 ns a 110°C, temperatura por encima de la máxima a la que va a trabajar el equipo. Aun así, siendo este valor muy inferior al tiempo muerto dado para la conmutación de los transistores, no pondría en peligro la integridad del equipo.

Protocolo de pruebas

A continuación se resume el protocolo de pruebas llevado a cabo en el laboratorio de Ingeteam Energy de Sarriguren con el fin de identificar los elementos defectuosos tras el ensayo HALT HSS en la tarjeta de drivers:

Se retiran test points y todo el cableado utilizado durante el ensayo HALT y se prepara espacio de trabajo para probar la tarjeta. Se requiere fuente de alimentación de 15 V y al menos 1 A, multímetro, test points, soldador, osciloscopio y sondas aisladas entre otros.



Imagen 80. Pruebas en tarjeta drivers tras fallo

Tras ello se conecta fuente de continua de 15V y comprueban diodos: diodo D2 OK, pero diodos D8 y D14 lucen muy poco, todo apunta a fallo fuente Push-Pull ya que diodo D2 se polariza mediante los 15 voltios de la fuente DC, mientras que los otros lo hacen con lo recibido de la fuente Push-Pull. Todo ello apunta a que

ambas fuentes Push-Pull han fallado. Se comprueba que se tienen aproximadamente 3 V en este punto (entre P15_TOP o P15 BOT y su masa correspondiente).

Se colocan diversos puntos de test en 15 V (tras diodo D6) que conectan con el driver driver Push-Pull en la rama del oscilador, en la salida del mismo (R4), en la salida Mosfet TP3 y en salida de fuente de alimentación P15_TOP y N15_TOP antes y después de Zener D15:

- Se comprueba punto 1 correcto: 7,40 V en el Zener D6.
- Punto 2 es salida del driver U1, se tiene cuadrada con máximo 7,6 V, frecuencia 147 kHz (rango admisible 132 a 158 kHz y *Duty* del 20%. Este último valor no concuerda con las especificaciones de diseño, que son cercanos 50% (típicamente 49%, no se llega a alcanzar 50%).
- Punto 3, salida integrado T1, el cual contiene dos transistores n-mos, se observa una forma de onda anómala.



Imagen 81. Capturas pruebas post fallo drivers I
Salida controlador fuente (rosa) y choppeada salida transistores T1 (turquesa). En amarillo se aprecia tensión de polarización de rama oscilador (ánodo D6).

Esta forma de onda ya que lo esperado según el diseño del circuito y las especificaciones del integrado T1 es una señal en contrafase con la salida pero con una amplitud diferente y de 30V.

- Ambos transmisores de fibra óptica U17 y U18 no lucen (estado de error), lo cual indica un incorrecto funcionamiento de la lógica del driver. Esto se debe a que el circuito utiliza los 15 V generados por las fuentes PUSH-PULL, y esta no funciona como es debido.
- Se aprecia un consumo de corriente elevado; 1,05 A frente a 0,71 nominales.

Para estas pruebas se debe tener especial cuidado con las masas aisladas proporcionadas por el convertidor (transformadores L5 y L1) cuando se realizan medidas con osciloscopio. Internamente tiene las referencias cortocircuitadas así que cuando se realicen medidas con masas distintas será necesario utilizar sondas aisladas.

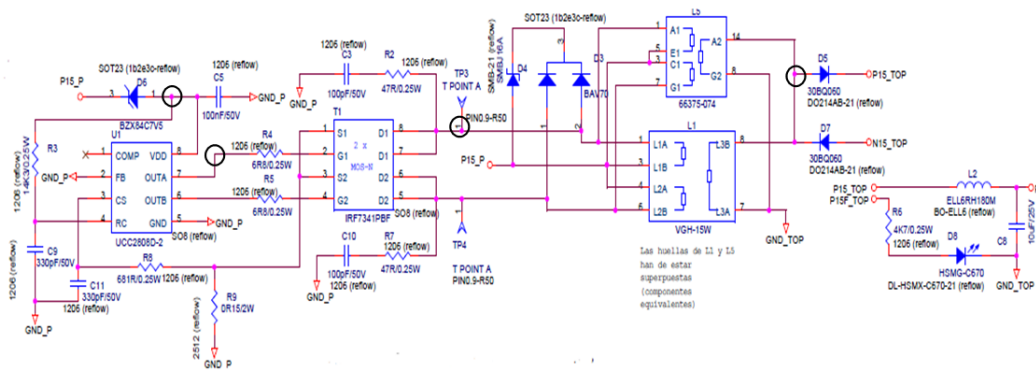


Imagen 82. Puntos de pruebas en fuente tarjeta drivers

A la vista de los resultados se propone el paso siguiente: localizar falta, parchear y comprobar que el resto del circuito funciona correctamente.

Resumiendo los resultados anteriores, se visualizan formas de onda en la fuente y se observa en U1 que la frecuencia es correcta pero el ciclo de trabajo de la onda de salida del driver no es la correcta; es 0,2 y debe ser cercana al 0,5. La forma de onda de salida de los Mosfet tampoco es la adecuada y este comportamiento inusual apunta a una cortocircuito o falta aguas arriba (se comprueba que el resto de componentes de esta etapa están correctos). Para comprobar el estado general de la PCB se utiliza una cámara térmica con el fin de identificar puntos calientes que ayuden a identificar faltas o cortocircuitos. Tras ello se identifica en el secundario de la fuente que tanto Q13 como Q21 trabajan a temperaturas mayores a los 115°C, lo cual no forma parte del funcionamiento normal. Además los integrados T1 y T2 (Mosfet) también están sobrecalentados (110°C).

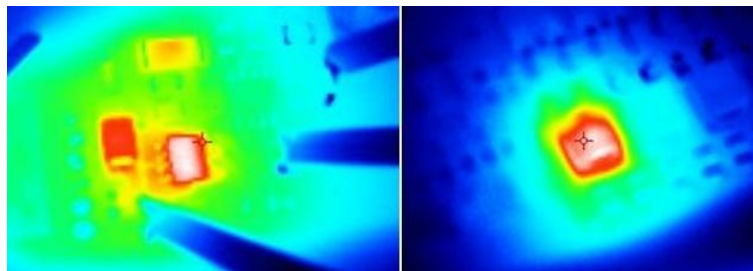


Imagen 83. Termografías tarjeta drivers.

(izda) Mosfet J1 junto a D4, temperatura cursor 110°C y (dcha) transistor Q21, temperatura cursor 115°C

Se prueba a retirar dichos componentes Q13 y Q21 y se observa cuál es el comportamiento en el primario de la tarjeta. Tras quitarlo se observa que los transistores Q12 y Q20 presentan el mismo comportamiento (están en paralelo y es esperable que no se encuentren en muy buen estado tras prueba HALT), además la forma de onda en TP3 y TP4 sigue siendo la misma (también la de salida del PUSH- PULL; se retiran. Se observa que forma de onda cambia un poco, y que consumo se dispara hasta 2,48 A.



Imagen 84. Capturas pruebas post fallo drivers II.

Figura X. Salida controlador fuente (rosa) y *choppeada* salida transistores T1 (turquesa). En amarillo se aprecia tensión de polarización de rama oscilador (ánodo D6).

Tras ello se decide aislar la parte del primario par observar si la circuitería está realmente dañada o es debido al fallo aguas arriba retirando los diodos D5 y D7. El resultado se muestra satisfactorio; el funcionamiento de la fuente es correcto, como se puede apreciar en la siguiente captura:



Imagen 85. Capturas pruebas post fallo drivers I

Figura X. Salida controlador fuente (rosa) y *choppeada* salida transistores T1 (turquesa). En amarillo se aprecia tensión de polarización de rama oscilador (ánodo D6).

El consumo de la fuente en este punto es de 0,11 A, lo cual se ajusta a lo esperado, según el consumo típico de los elementos del circuito. También se comprueba mediante la cámara térmica que los componentes que anteriormente estaban sobrecalentados (integrados n-mos y diodo de snubber) ahora trabajan a temperaturas normales (en general, incrementos de 10°C-15°C respecto a temperatura ambiente).

Pero las pruebas realizadas hasta ahora no aseguran con totalidad que el fallo se hubiese producido en las ramas de transistores de ataque a los IGBT (MJD45H11). Para ello se retiran todos ellos: Q7, Q8, Q9, Q10, Q11, Q12, Q13, Q14. Tras hacerlo se vuelven a colocar diodos D5 y D7 y se comprueba que el consumo sube hasta 0,43 A, valor muy cercano y menor al consumo cuando la tarjeta funcionaba correctamente (rondaba los 0,47 A). Se debe tener en cuenta que los transistores no están disparando. Para verificar se realizan capturas de las señales de interés, así como medidas con polímetro de la tensión entregada por la fuente Push-Pull, obteniéndose:

- Tensión entre P15_TOP y GND_TOP: 16,08 V (rango aceptable: 15V - 16,8V)
- Tensión entre N15_TOP y GND_TOP: 16,70 V (rango aceptable: 15,5V - 17,5V)

Siendo los límites admisibles los mostrados anteriormente, se verifica pues que los niveles de tensión se encuentran dentro los mismos. Entre otros, se comprueba que la lógica de error funciona correctamente, emitiendo ahora pulsos de luz por transmisores de fibra óptica U17 y U18 cuando no se da ninguna falta y dejando de emitir en el momento que se detecta falta (por ejemplo fallo de alimentación).

Adicionalmente se ha comprobado el correcto funcionamiento de los Zener D15, D17, D16 y D18, como se ha mencionado en el anterior apartado.

- Se comprueba que LEDs D8 y D14 vuelven a lucir correctamente.

Ahora que la fuente de $\pm 15V$ funciona correctamente es necesario comprobar la recepción de pulsos de fibra óptica por parte de la tarjeta de drivers. Se conecta la tarjeta de test para emitir pulsos de 3.6kHz. Se pretende comprobar en receptor de fibra óptica de la tarjeta de drivers la recepción (U15 y U16).



Imagen 86. Capturas pruebas post fallo drivers IV
(izda) Pulsos generados por tarjeta AAV7909 (rosa) y señal recibida por U15 (amarillo); medida terminales C56.

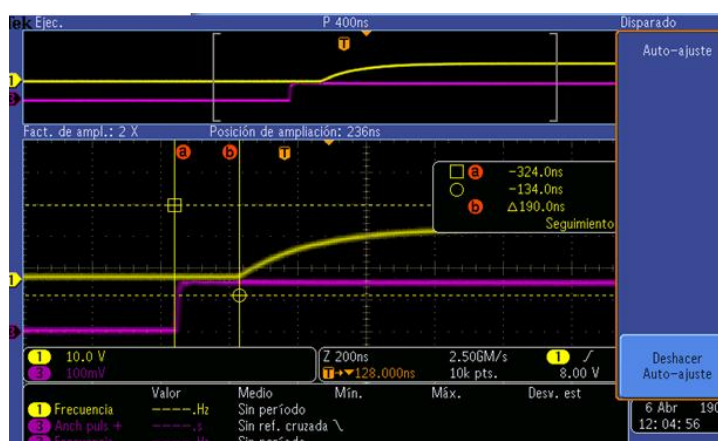


Imagen 87. Capturas pruebas post fallo drivers V.
(dcha) Retardo entre emisión de pulso AAS79099 (rosa) y recepción del mismo RX_TOP (amarillo).

Tras esa comprobación, se pretende asegurar que el funcionamiento de toda la lógica de disparo es la adecuada, y no existan errores además del localizado en los transistores de salida. Se prueba en la tarjeta ABK0018 y midiendo en el punto TP32 y TP35, salidas de integrados T3 y T4 respectivamente. En un primer momento se comprueba únicamente utilizando la tarjeta de Drivers:

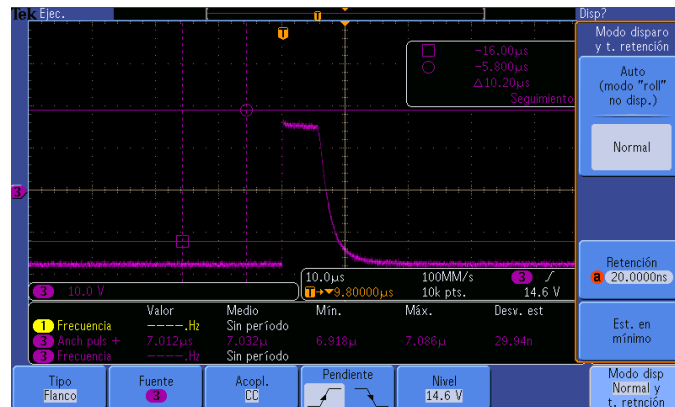


Imagen 88. Disparo rama transistores tarjeta drivers I.
Pulso de duración 7 μs debido a detección de error.

Este disparo no es el esperado, pero es debido a que la tarjeta detecta que no están conectados los IGBT y corta el disparo. Este tiempo debe ser como máximo de 10 μs. Se comprueba que el ancho de pulso es de 7 μs; valor correcto. Una vez comprobada esta lógica de detección de fallo, se conectan las tarjetas de conexión con IGBTs soldados y se procede al disparo.

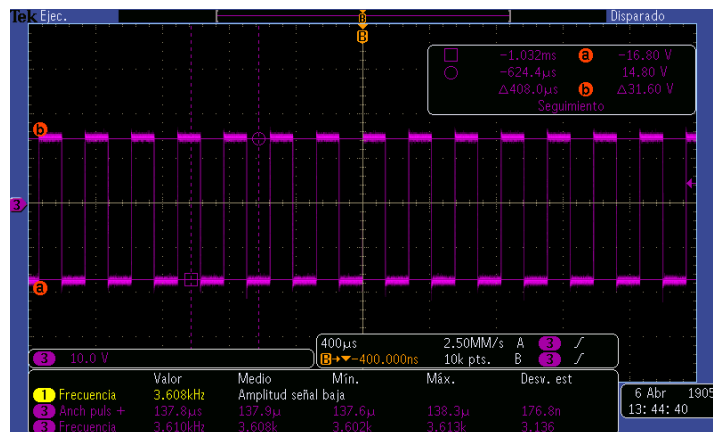


Imagen 89. Disparo rama transistores tarjeta drivers II

Se obtiene una forma de onda correcta, de una frecuencia de 3,6 kHz, que coincide con la de la onda generada por la tarjeta de test. Se da por válido el funcionamiento de este circuito.

Adicionalmente se comprobó que la tarjeta de conexión a los IGBT ensayada no hubiese sufrido daño permanente utilizando una tarjeta de drivers adicional (sin haber sido ensayada mediante HALT). Se comprobó la correcta recepción de pulsos de disparo de puerta en ramas tanto TOP como BOT.

Por último se sustituyen componentes defectuosos por otros nuevos y se verifica correcto funcionamiento de disparo en tarjeta de drivers.

3.3.6.4. Conclusiones

Durante este ensayo se han sometido a pruebas de estrés térmico a las tarjetas de drivers y de conexión a IGBTs. Se han provocado a gradientes térmicos al máximo de la capacidad de la cámara climática y medido la respuesta de la tarjeta ante las mismas.

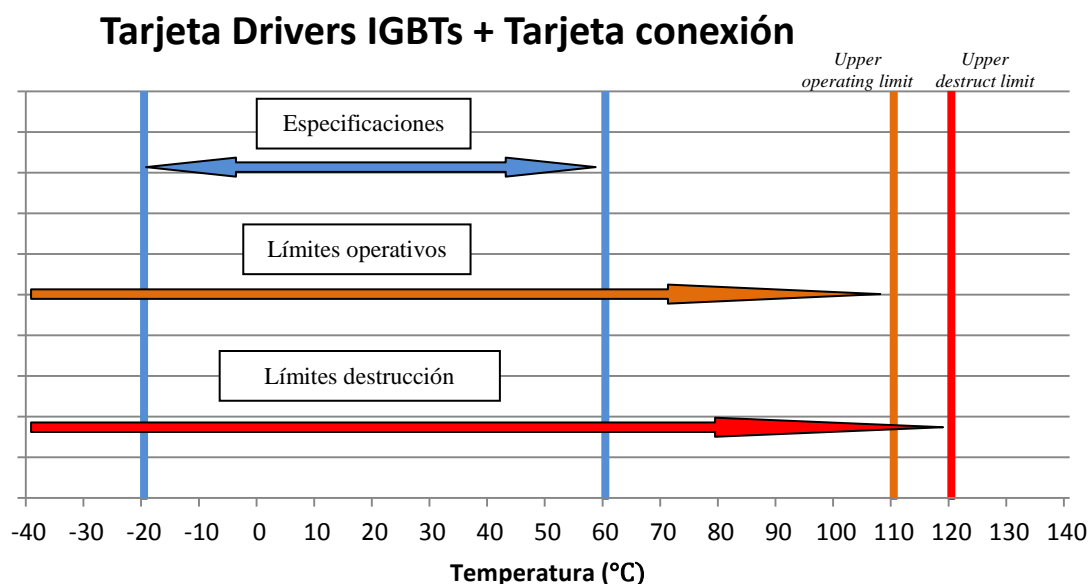
Este ensayo mostró falta a partir de 110°C en el ensayo HSS, momento en el cual se dejó de recibir señal de disparo de puerta de IGBT. Este fallo se atribuye al deterioro del cable de fibra óptica, localizando el *upper operating limit*. Poco después, alrededor de 120°C se detectan un fallo en la tensión generada por la

fuelle Push-Pull, que pasa a generar 5 V entre terminales positivo y negativo. Esta tensión insuficiente provoca fallos en los LEDs de estado D8 y D14, así como en la lógica de detección de fallo por alimentación insuficiente. Otro error que se tiene es en la recepción de los pulsos de fibra óptica, se detectó que además de debido al deterioro del cable de fibra óptica es causado por la insuficiente tensión de alimentación en el receptor de fibra. Durante las pruebas posteriores en el laboratorio se detectó que el origen del fallo se localiza en los transistores (nnp y pnp) de la tarjeta de drivers de ataque a las ramas de IGBTs, los cuales provocaron un cortocircuito ante el cual la propia fuente Push-Pull (driver) se trató de proteger. Tras aislar el fallo se comprobó que la fuente funcionaba correctamente así como la etapa y lógica de disparo y fallo de alimentación. Se sustituyeron los componentes defectuosos y se prueba de nuevo la tarjeta; se verifica el correcto funcionamiento de la misma. Se establece por tanto al cable de fibra óptica así como los transistores de las ramas de ataque a IGBTs como los elementos débiles de la tarjeta. No obstante al estar muy por encima del rango de funcionamiento nominal del equipo no se requiere rediseño de la etapa ya que el dispositivo cumple con las especificaciones de diseño. En este punto se localiza el upper destructive limit.

Durante el ensayo CSS no se detectaron faltas y el funcionamiento de la tarjeta fue correcto. Se realizó el encendido de la propia tarjeta a temperaturas de -30°C para verificar un correcto arranque en situaciones desfavorables; fue correcto. Esta temperatura está por debajo de la mínima del equipo (-20°C) y es de importancia asegurar que el inversor realice un arranque en frío correcto a estas temperaturas, ya que tras el mismo, el calor disipado por los propios componentes y la inercia del equipo mantendrá la temperatura en rangos nominales. No se ha apreciado deterioro mecánico, en máscara de soldadura o barniz.

Además de las faltas anteriormente mencionadas se apreció la evolución de diversas magnitudes eléctricas con la temperatura, a destacar el aumento en el retardo (al aumentar temperatura) introducido por la electrónica de la tarjeta entre la emisión del pulso de fibra óptica y la onda de disparo de puerta entregada a los IGBTs. Este retardo, aun siendo superior a los 600 ns establecidos en el diseño, sigue estando muy por debajo del tiempo muerto de conmutación y no se produce peligro de cortocircuito en las ramas.

Tras este ensayo se ha localizado el *upper destructive limit* y el *upper operating limit*.



Gráfica 48. Resultados ensayos HALT tarjeta drivers+ tarjeta conexión

4. OTROS ENSAYOS Y MEJORA CONTINUA

En el presente apartado se muestran algunas de las pruebas, montajes y ensayos enmarcados dentro del proyecto como parte de la mejora continua en el diseño de los equipos realizados durante mi estancia en *Ingeteam Power Technology*.

4.1. CARGA Y DESCARGA CONDENSADORES

MONITORIZACIÓN VAUX

Tras pruebas realizadas por personal de *Ingeteam* a la tarjeta de monitorización de ventiladores (se describe en apartado 3.2.2 se detectó que un fallo en unas resistencias de carga de condensadores de bus). Éstas, debido a su pequeño valor óhmico creaban corrientes excesivamente grandes que destruyeron el puente rectificador de diodos. Como parte de mis tareas durante el proyecto me encargué de la sustitución de dichas resistencias, cálculo y comprobación de que el nuevo diseño se ajustaba a las condiciones de funcionamiento.

Para ello diseñé un circuito de prueba para automatizar ciclos de carga y descarga de los condensadores, seleccioné los componentes y lo ensamblé. El esquema se muestra a continuación:

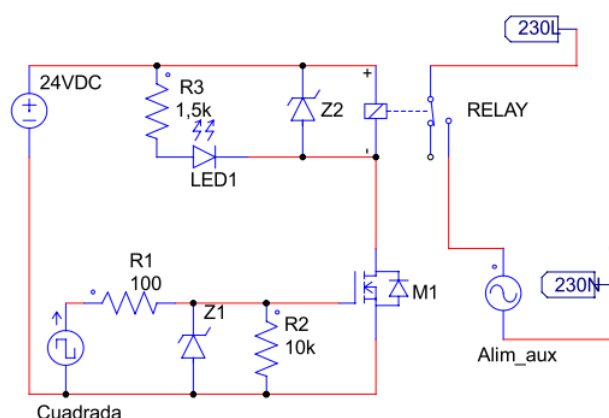


Imagen 90. Circuito carga condensadores

El funcionamiento de este circuito es el siguiente: desde el generador de onda cuadrada se ataca a la puerta de un transistor n-Mosfet, incluyendo un Zener para limitar la tensión y resistencias para limitar la corriente. El circuito se diseña para que funcione como interruptor, en regiones de corte y óhmica. Mediante las conmutaciones del transistor se magnetiza la bobina del relé, el cual conmuta la y habilita/deshabilita la carga /descarga de condensadores a través de 230 Vac desde la red (los cuales van a rectificador de diodos previamente). Se ha incluido un transil en la parte de la bobina del relé para disipar el pico de corriente transitoria producida tras la interrupción de la corriente por la bobina, ofreciendo un camino alternativo a la misma que no dañe el resto del circuito. Del mismo modo se incluye un LED que lucirá cuando se energiza la bobina del relé.

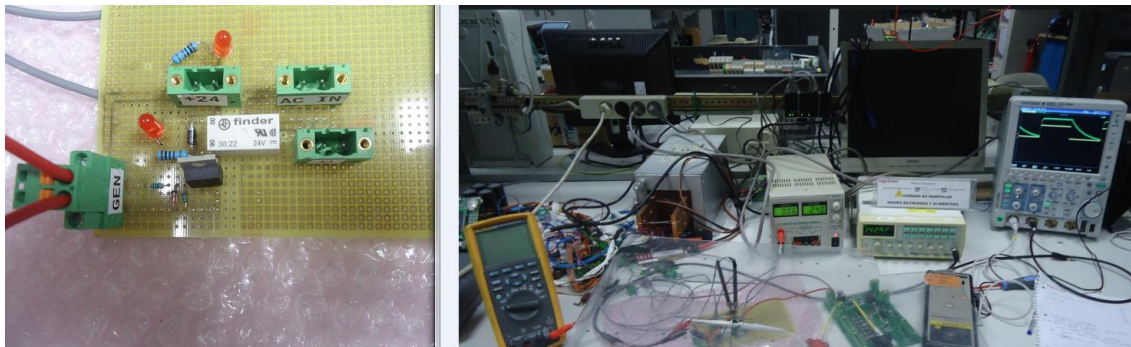


Imagen 91. Prueba carga/descarga condensadores.
A la izquierda montaje de circuito de prueba, a la derecha imagen de la prueba de carga/descarga de condensadores de bus

La prueba consistió en realizar dicha carga y descarga durante 2 días seguidos, aproximadamente 48 horas, en las cuales se realizaron aproximadamente 12000 conmutaciones. Tras la prueba y durante la realización de la misma se comprobó la temperatura de los componentes mediante una cámara termográfica. Al finalizar la prueba se verificó el correcto funcionamiento y fiabilidad del circuito e integridad de los componentes

4.2. TARJETA SEÑAL PARA COMPROBADORA VENTILADORES

Para comprobar el correcto funcionamiento de la tarjeta de monitorización de ventiladores en producción se ha planteado la necesidad de utilizar una tarjeta para automatizar dicha prueba. Se ha diseñado un prototipo y me he encargado del montaje y prueba del mismo. Tras ello modifiqué ciertos componentes del circuito para lograr un funcionamiento más óptimo del mismo. En el apartado 3.3.2 se utiliza esta tarjeta para el ensayo HALT de la tarjeta de monitorización de ventiladores.

4.3. MODIFICACIÓN TARJETA SINCRONIZACIÓN FIBRA ÓPTICA

Se plantea una mejora en el circuito de monitorización de fibra óptica para la recepción de los pulsos de sincronización. Para una explicación consultar el apartado de 3.3.1.3.4.

4.4. PROTOTIPO TARJETA DE CAPTACIONES

Se recibió el prototipo de la tarjeta de captaciones tras por la tarjeta comprobadora en la nave de producción en Sesma se obtienen resultados y lecturas anómalas. Por ello se procede al estudio y búsqueda de errores en los laboratorios de Ingeteam de Sarriguren; mi tarea fue este estudio y dichas pruebas. A continuación se describen las pruebas realizadas y sus resultados.

Captaciones de tensión

Primero se comprueba que la fuente de 5 V regulados funciona correctamente, debido a una medida de 4,7 V por parte de la comprobadora. Esto no es aceptable ya que es un regulador de precisión ($\pm 1\%$). Se alimenta en J14 con la polaridad adecuada con tensión continua. A partir de 330 Vdc entra en funcionamiento, lo cual se constata mediante los diversos LEDs. Se realizan medidas y se obtienen una tensión de 5,01 Vdc en el punto denotado como +5V_Reg, tensión entre los terminales de C147; se da por correcta.

Es importante a la hora de medir tener en cuenta las diferentes referencias que se tienen debido al aislamiento galvánico proporcionado por el transformador T4. Las diferentes referencias de las sondas de

los osciloscopios se encuentran conectadas y se pueden crear cortocircuitos indeseables si se conectan dos sondas con referencias diferentes; una solución a este problema es la utilización de sondas aisladas.

Otro fallo que se encontró fue en la parte de las captaciones de tensión alterna. La medida de frecuencia es correcta pero sin embargo las captaciones CAP_VAC_L1, CAP_VAC_L2 y CAP_VAC_L3 dan lecturas erróneas. Se constata este hecho en el laboratorio. Cuando no se introduce tensión alterna por J6, J7 o J8 (recordar que es necesario alimentar con tensión continua de mínimo 330 Vdc desde J13 o J14; para la prueba se utilizan 400 Vdc) se obtienen a las salidas 5V, lo cual es correcto debido a la última etapa correspondiente a un operacional sumador que introduce un offset (motivo offset añadir). Se procede a analizar las distintas etapas del circuito:

- Se introducen Vac en J6 y se mide la CAP_VAC_L1, la cual debe ser una senoidal escalada y con offset. No se obtiene lo mencionado.

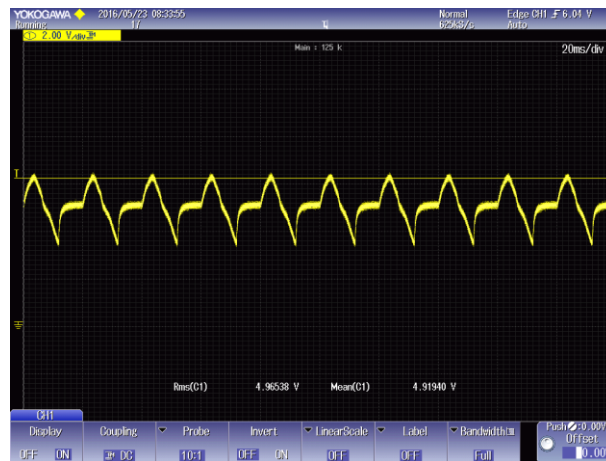


Imagen 92. Salida captación con entrada senoidal. Resultado incorrecto

- A continuación se cortocircuitan los terminales 1 de J6, J7 y J8 para descartar cualquier fallo en las resistencias de equilibrado del neutro R366, R367 y R368. El resultado es el mismo y tras una comprobación visual de las mismas se comprueba que están correctamente montadas.
- Se mide entre el punto 9 de T1 y GNDA, teniendo en cuenta que es un transformador de 380V/9V. Se obtiene lo siguiente; en amarillo tensión en 9 de T1 y en turquesa la salida de U3A (TP3).



Imagen 93. Medida entrada a circuito captación

Se tiene un operacional con ganancia 0,71 negativa, lo cual se ajusta a lo obtenido. El problema es que ninguna de las señales tiene la forma adecuada (senoidal). Se procede con las comprobaciones:

- Se mida en las otras captaciones, obteniéndose el mismo resultado.

- Se comprueba offset. Amarilla salida sumador con su ganancia correspondiente, azul salida operacional (incluye offset de 5V).



Imagen 94. Salida sumador (onda amarilla) y salida operacional (turquesa)

- Se comprueba montaje de los amplificadores operacionales, posición, soldaduras mal realizadas o inexistentes. Todo parece correcto.
- Se comprueba entrada de tensión alterna y tiene aspecto correcto.

Por último se aprecia que en la entrada se tiene forma de onda incorrecta, no hay varistores y no queda conectado a tierra. Tras conectar los varistores se observa que el resultado es el correcto y se reproduce la onda senoidal escalada y con un offset de 5 V.

Por último se comprueban todos estos puntos para las otras dos captaciones de tensión; se verifica su correcto funcionamiento y se verifica que el fallo vino dado por la no conexión de los varistores y por tanto será necesario incluirlos durante las pruebas de producción.

Captaciones de corriente

Durante las pruebas en Sesma el comprobador presentó fallo en las captaciones de corriente.

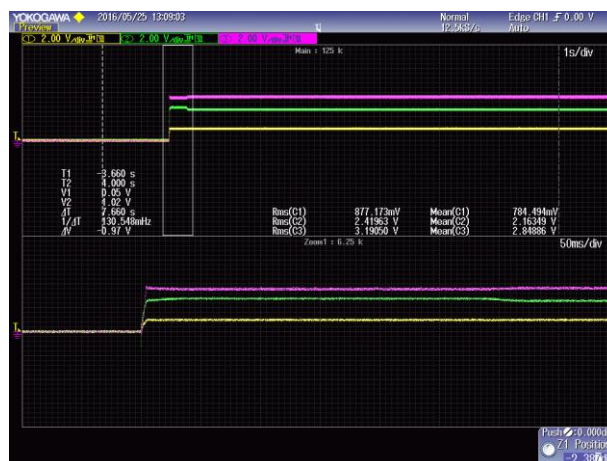


Imagen 95. Salida sumador invertida (amarillo), salida captación (verde) y offset (rosa)

Para ello fue necesario realizar el montaje de la tarjeta de control, la cual introduce una onda PWM que tras ser escalada y filtrada genera un offset para la etapa de captación para compensar el propio de la medida (circuito de autocero). Este resultado se mide de nuevo y así se establece un control en lazo cerrado que permite al dsp de la tarjeta de control activar o desactivar el integrador para cumplir dichas necesidades.

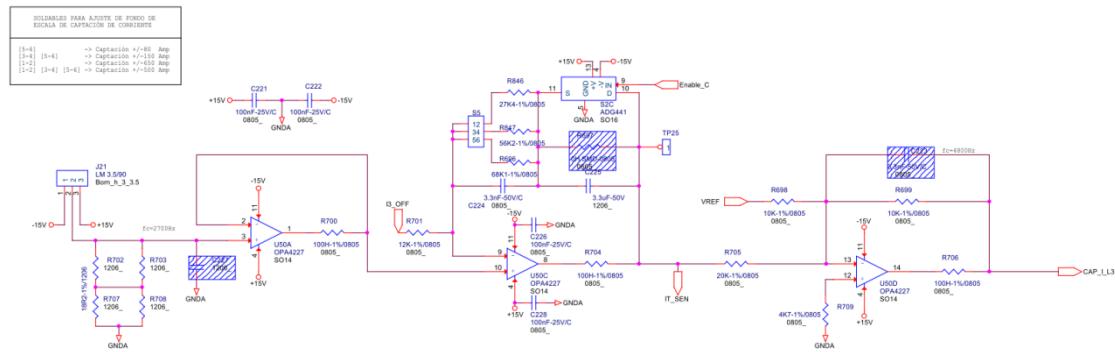


Imagen 96. Esquema captación tensión [24]

Del mismo modo que para la captación de tensión se comprueba etapa por etapa. Para estas pruebas no se dispone de sensor de corriente y por ello se coloca una resistencia entre los terminales 2 y 3 de los conectores J21, J3 y J4 de tal manera que se tenga 1 V a la entrada no inversora del buffer. Se comprueba que tras buffer se tenga la misma lectura de tensión; todo correcto en las tres captaciones. Al llegar a la etapa del offset en la captación CAP_I_I3 se encontraron anomalías:

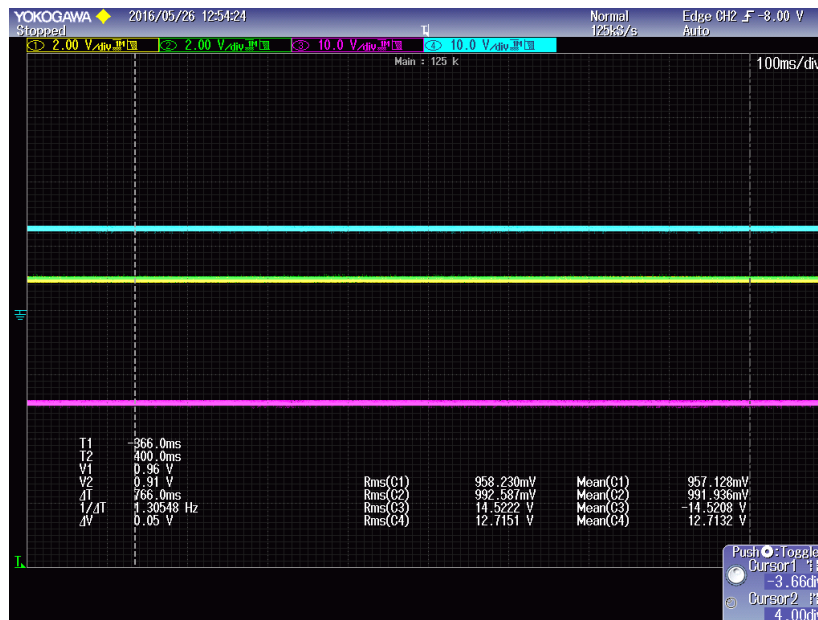


Imagen 97. Lecturas captación CAP_I_I3

: entrada inversora buffer (verde), salida buffer(amarillo), I3_OFF (turquesa), salida operacional U50C (rosa)

Se observa que tanto la entrada como salida del buffer son correctas, aproximadamente 1 V. La tensión de offset es de 12,8 y la salida de U50C es de -14,4, lo cual encaja con el funcionamiento del circuito (ganancia negativa 2,6). Sin embargo tras analizar la etapa de offset I3_OFF se observa que se encuentra fuera de rango:

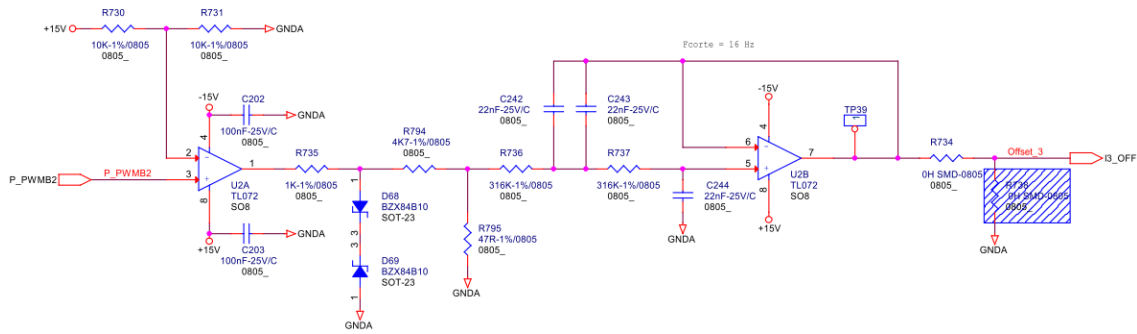


Imagen 98. Esquema generación offset [24]

La operación básica de este circuito consiste en la introducción de una onda cuadrada (P_PWMB2) introducida desde la tarjeta de control de *Duty* variable en la entrada no inversora de U2A. En la otra patilla se incluye tensión continua de 7,5 V mediante un divisor resistivo. El operacional funciona como comparador y su salida será una cuadrada morfológicamente igual a P_PWMB2 pero escalada entre -15V y 15V (alimentación del operacional). Tras ello se tiene una etapa con dos diodos Zener contrapuestos que recortan dicha onda a ± 10 V, para ser después escalada mediante un divisor resistivo a ± 1 V. Esta onda se filtra mediante un filtro de segundo orden *Butterworth* con ganancia 1, el cual entrega una tensión continua que es el offset incluido en el circuito anterior. Se observa que la máxima de offset es de 1 V. Se analiza en el laboratorio origen de la falta.

En laboratorio se han comprobado soldaduras y montaje de componentes y se detectó una mala soldadura en la resistencia R735. Tras ello se repasó dicha soldadura y se comprobó que el circuito funcionaba correctamente.



Imagen 99. Lecturas captación corriente tras corrección falta.
Offset I3_OFF (verde), salida U50C (amarillo) y salida captación (rosa)

Se verifica que la salida se ajusta a lo esperado a la salida del operacional U50C, teniendo una ganancia inversora de 2,62 aproximadamente, a la cual se le incluye un offset. En la siguiente etapa se le añade un offset para acomodar en una primera etapa a la tensión de entrada del dsp, retirando la parte negativa de la señal. Se introduce una Vref de -5 V y se obtienen a la salida aproximadamente 3,6.

Tras esta prueba se comprueban las otras dos captaciones de corriente y funcionan correctamente.

Después de estas pruebas el personal de Ingeteam detectó que diversas tarjetas presentaron fallos en la captación de corriente debido a alguna soldadura defectuosa y en los operacionales. Tras ello se decide hablar con la empresa montadora de tarjetas para solventar esta incidencia.

4.5. PRUEBA IEC 62109-2-2010 DE MEDIDA DE AISLAMIENTO

Según el apartado 4.8.2.1. de esta norma los inversores deben ser capaces de medir la resistencia de aislamiento desde el panel fotovoltaico. Se establece que si dicha resistencia es menor que R , el inversor debe realizar ser capaz de detectarlo y desconectarse. En esta situación debe seguir midiendo dicho aislamiento y conectarse en caso de rebasar este mínimo de R , cuyo cálculo se muestra a continuación:

$$R = \frac{V_{MAX PV}}{30 mA}$$

Para el caso que ocupa:

$$R = \frac{1050 V}{30 mA} = 35 k\Omega$$

En la norma [23] se especifican los detalles de la prueba, en los que se indica que una resistencia de valor 10% menor que R debe ser conectada entre tierra y cada terminal de del inversor ($\pm V_{bus}$). La tensión de entrada al inversor debe ser en un instante inicial menor que la requerida para arrancar. Tras comenzar el ensayo se debe subir dicha tensión hasta un valor suficiente para que el inversor comience a funcionar, momento en el cual debe detectar la falta según el apartado 13.9 de dicha norma.

Para realizar esta prueba con comodidad me encargué de realizar un montaje que incluye terminales de entrada y borneros necesarios para las conexiones a los terminales, arrays de resistencias necesarias para ajustarse a las prerrogativas de la norma y magnetotérmicos que permiten la conexión/desconexión de dichas resistencias para comprobar que el inversor ese capaz de arrancar/detenerse.

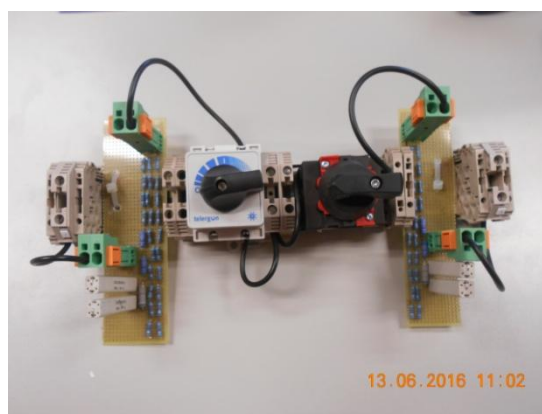


Imagen 100. Montaje prueba IEC 62109 medida de aislamiento

Este montaje se ha utilizado en dos ocasiones para realizar las pruebas correspondientes en equipos *Monoblock*.

5. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

Como apartado final del presente documento se presenta un resumen de las conclusiones obtenidas de los ensayos, pruebas y análisis enmarcados en la mejora continua y el aumento de fiabilidad.

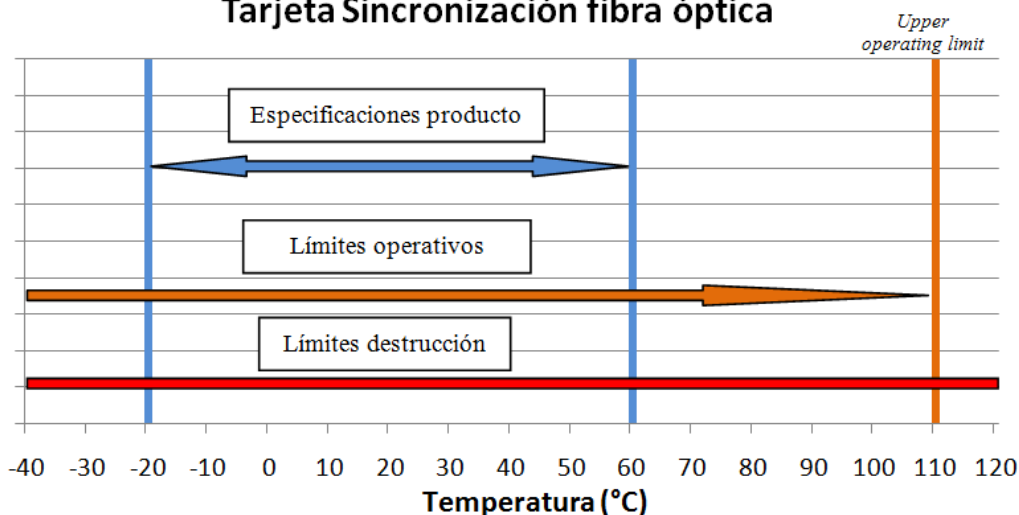
En primer lugar se hará referencia a los ensayos HALT, eje central y núcleo del proyecto. Este tipo de ensayos es cada vez más utilizado en la industria debido a sus beneficios en la mejora de fiabilidad y ahorro en tiempo y costes. Anteriormente a este proyecto se habían llevado a cabo en escasas ocasiones y por tanto, a lo largo del mismo se pretende establecer una base para la continuación de estos ensayos durante las fases de prototipos y de producción de tanto equipos actuales como en diseños futuros. No obstante se debe destacar que debido a las limitaciones que presenta la cámara climática disponible no pueden obtenerse gradientes térmicos suficientemente elevados como para realizar ensayos *rapid thermal cycling* (los cuales exigen variaciones de aproximadamente 60°C/min y suelen ser realizados en sistemas especiales que consisten de dos cámaras independientes en los cuáles el objeto ensayado se traslada de una a otra de manera alternante), temperaturas superiores a 135°C o inferiores a -30°C ni realizarse ensayos de estrés mecánico (vibraciones).

Se han llevado a cabo ensayos en 6 tarjetas diferentes del equipo *Monoblock*, analizando el comportamiento de las diferentes variables de interés a lo largo de los mismos. Los resultados han sido satisfactorios en cuanto a que se ha comprobado que todas se ajustan al rango de temperaturas de diseño, contando con un amplio margen. Se han localizado faltas que se han analizado y se ha propuesto alguna modificación en el diseño para la mejora de la fiabilidad. En todos los ensayos se ha llevado la cámara a sus temperaturas límites de funcionamiento, llegando a límites operativos y en algún caso al límite de destrucción de componentes. A continuación se resumirán los distintos resultados para cada tarjeta estudiada:

-Tarjeta de fibra óptica: se comprueba que dentro los límites para los cuales está diseñado el producto opera correctamente, funcionando por encima de la temperatura máxima de diseño. Mediante la monitorización de las diferentes variables se verifica la evolución frente a la temperatura así como el rechazo a variaciones de tensión de alimentación, manteniéndose dentro ambos en niveles admisibles. Se ha comprobado el correcto funcionamiento del sistema de detección de fallos y de la lógica maestro/esclavo. Se detectó un fallo al alcanzar los 110°C debido al deterioro del cable de fibra óptica lo cual provoca una incorrecta recepción de pulsos desde maestro a esclavo, localizando el *upper operating point*. Durante el ensayo CSS no se localizó ningún límite ni operativo ni destructivo. Adicionalmente se detectó un aumento en el retardo entre recepción y emisión de fibra óptica, y aunque se mantuvo en valores admisibles a lo largo del ensayo se ha planteado una modificación al circuito que implementa la recepción/lógica para lograr un menor retardo, pudiendo llegar a una reducción de 114 ns en dicho tiempo y aumentando de ese modo la fiabilidad de la tarjeta (a menor retardo mejor es la sincronización entre tarjetas y menores son las tensiones de modo común introducidas). Dicho circuito ha sido simulado y queda planteada como línea futura el montaje y prueba de un prototipo para comprobar la mejora introducida respecto al original.

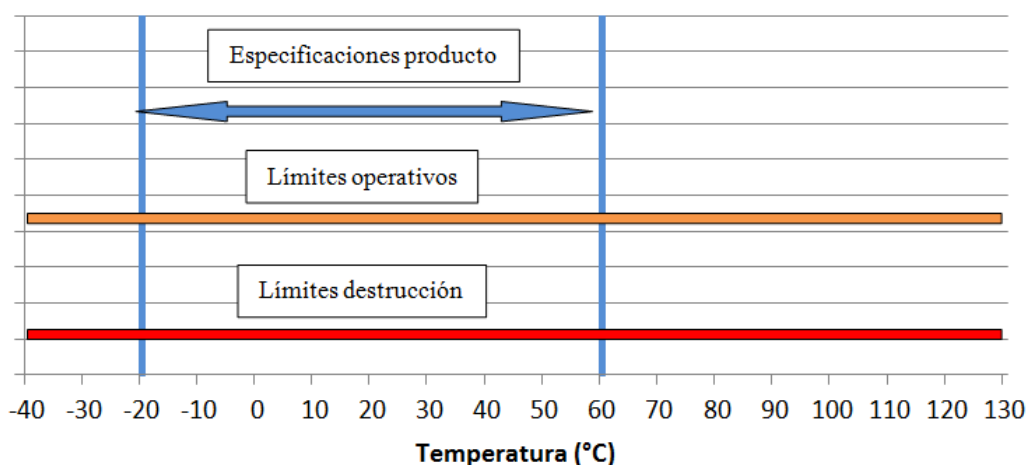
Tras este ensayo se ha podido verificar la robustez de la tarjeta y el amplio margen térmico en el diseño de la misma, manteniéndose funcional excedidos 50°C de la temperatura máxima de trabajo del inversor y no produciéndose daño permanente en la misma:

Tarjeta Sincronización fibra óptica



- Tarjeta de monitorización de ventiladores: se verifica que dentro de los límites alcanzados durante el ensayo la tarjeta funciona correctamente a nivel de tensiones de alimentación, lógica de detección de sobretensión/subtensión en servicios auxiliares, así como en la monitorización de ventiladores con referencias tacométricas y de tensión. Se monitorizan diversas variables a lo largo de los saltos térmicos y se estudia su variación, manteniéndose siempre dentro de límites admisibles para el correcto funcionamiento de la tarjeta. Sin embargo al estudiar el rechazo en variaciones de tensión de alimentación (en concreto la de 24 V, generada en la tarjeta de fuentes del equipo y no por ningún regulador/convertidor de la tarjeta bajo ensayo) se ha acusado su efecto en la señal PWM_IND. Esta señal, que es la utilizada para mantener la velocidad de giro del ventilador de la bobina al máximo independientemente de la velocidad de giro de los otros ventiladores disminuye su valor al disminuir el valor de la tensión de 24 V. Se ha estudiado la modificación del valor óhmico de resistencias del circuito para disminuir el umbral de tensión a partir del cual se da menor tensión al ventilador de la bobina (y consecuentemente disminuyendo su velocidad de la máxima). Debido a la indisponibilidad de un ventilador para realizar pruebas, queda planteada como línea futura la comprobación del umbral de tensión del ventilador, es decir, la comprobación del nivel de tensión a partir del cual el ventilador proporciona una velocidad de giro máxima. De esta manera se han estudiado los límites de funcionamiento del equipo y se ha propuesto una modificación en su circuito para la mejora de prestaciones y fiabilidad del mismo. No se han localizado *upper/lower operative/destructive limits*.

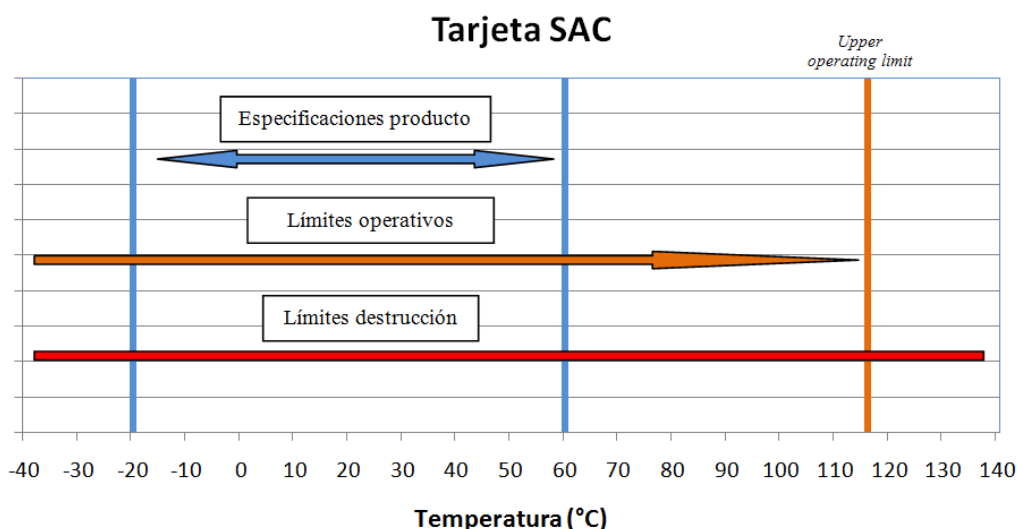
Tarjeta monitorización ventiladores



- Tarjeta contactor supply system: tras los ensayos HALT se ha observado un aumento en el error en la medida de tensión de bus tras la subida de temperatura y por ello se ha localizado una falta en la parada de generación del inversor de la tarjeta por tensión de bus máxima. Debido a que la fuente utilizada genera un máximo de 1062 V, no se ha podido comprobar cuál es la temperatura a la que pararía, pero tras analizar

el circuito y su comportamiento se ha establecido en aproximadamente 1126 V la tensión real de bus. Esto puede suponer un problema debido a que se los IGBT soportan una tensión colector-emisor de 1200 V, y por tanto mayores aumentos de temperatura podrían acercarse a dicho límite poniendo en peligro la integridad del equipo. Del mismo modo la detección de parada por tensión baja se ve afectada (se mide menos tensión de la que hay realmente), lo cual también puede suponer un problema debido a que si la tensión es menor que 325 Vdc ya no se podrían generar 230 Vac_{rms} a la salida y la forma de onda incluiría más armónicos, provocando mayores pérdidas entre otros. Posteriormente al ensayo se ha estudiado del efecto de la temperatura en el circuito de captación a nivel hardware y en el CAD del dsp y se ha comprobado que el efecto mayor es provocado por la variación en los valores óhmicos de las resistencias; la desviación es del 12,66% máximo mientras que la lectura del dsp varían en 2,5%. Se comprueba que el fallo se recupera al volver la temperatura a valores en los que no se daba dicha falta, localizando un *upper operating limit* y no produciéndose daño permanente en el dispositivo. Este límite se encuentra muy por encima de la temperatura de funcionamiento máxima del equipo, no siendo necesario una modificación en el mismo.

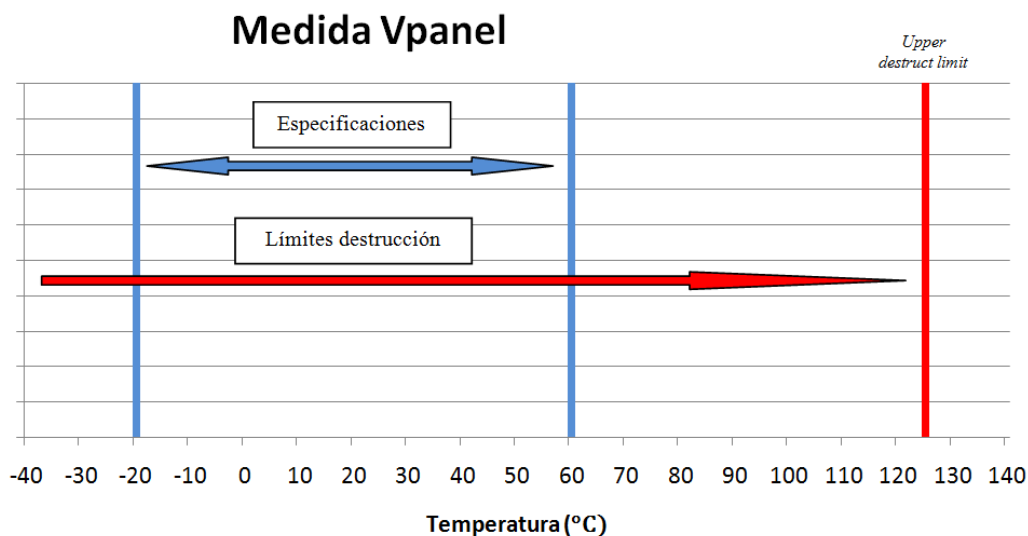
Se detectó una variación en la tensión de salida de la SAC, oscilando entre 240 y 204 V. Debido al control en lazo abierto este comportamiento es esperable y se comprueba que esta variación no afecta al correcto funcionamiento del sistema, el cual es mantener energizada la bobina del contactor de salida AC (valores admisibles entre 100 y 250 Vac_{rms}). El arranque y sincronización del inversor ha sido correcto. Durante el ensayo CSS no se detectaron anomalías y el resto de parámetros se sitúan dentro de los límites funcionales del equipo en ambos ensayos.



- Tarjeta de medida de Vpanel: tras los ensayos realizados esta tarjeta se detectó una falta en la tensión entregada por los reguladores a partir de 120°C, así como en los diodos D4 y D5. Tras la falta se disminuyó la temperatura para observar si esta se recuperaba, no dándose el caso. Posteriormente se probaron ambas fuentes y se verificó que seguían mostrando un comportamiento erróneo, siendo el convertidor no aislado el elemento débil, mientras que los LEDs funcionan correctamente comprobándose que la falta (no luz) fue debida a una tensión de polarización insuficiente. Se comprueba que esta falta es de esperar debido a que se excedieron las temperaturas máximas de funcionamiento de los componentes y muy por encima del rango de trabajo del equipo *Monoblock*. No obstante se plantea la opción de sustituir el reductor no aislado por otro de la serie 3630AH del mismo fabricante, cuya máxima temperatura de funcionamiento es de 150°C; de este modo se comprobaría el límite del convertidor aislado (potencialmente el nuevo elemento débil) así como se aumentaría la fiabilidad del dispositivo y del equipo en general. Tras ello se establece el *límite superior de destrucción*. Esta temperatura está muy por encima de las especificaciones de diseño del equipo y se ha comprobado que hasta el momento de la falta el funcionamiento del circuito es el correcto y no se han localizado *upper/lower operative limits*.

Adicionalmente se han acusado variaciones en las lecturas de tensión y corriente a lo largo del ensayo. Se tienen en cuenta las tolerancias en las resistencias, variación de su valor óhmico frente a la temperatura y las tolerancias en las especificaciones de componentes como el operacional aislado y se calcula teóricamente para llegar a un máximo de 2,3% de error en la medida de corriente; se comprueba que los

cálculos teóricos concuerdan con las medidas tomadas. De las lecturas se puede afirmar que las variaciones se encuentran dentro del rango admisible, ya que son menores que el 1% respecto a 1000V. Esta tensión es utilizada a nivel de protecciones y este margen no supondrá un peligro para la integridad del equipo; no se establece un límite operativo. Durante el ensayo CSS no se encontraron anomalías, y adicionalmente se realizó el arranque de la tarjeta a -30°C y se verificó su correcto funcionamiento.

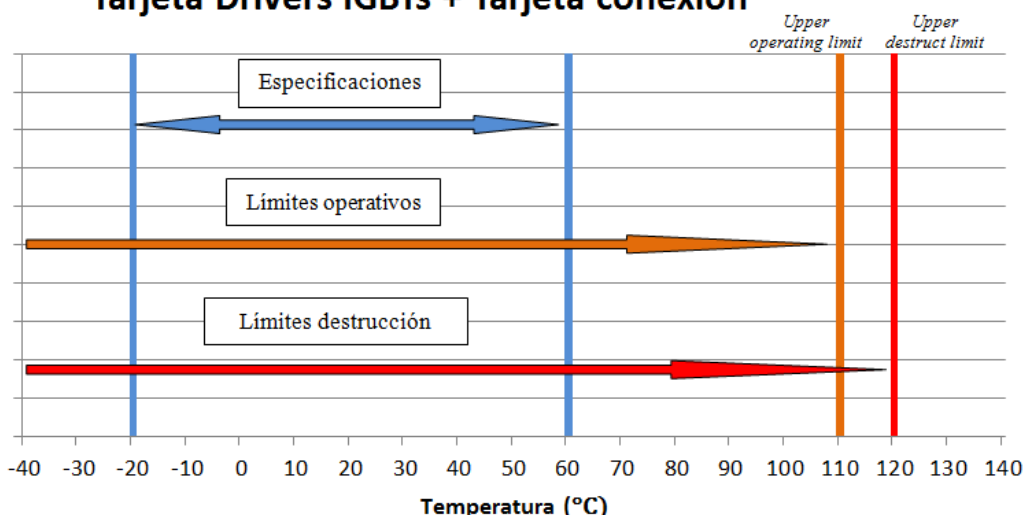


- Tarjeta de drivers y tarjeta de conexión a IGBT: durante este ensayo se localizó a los 110°C una falta en la recepción de señal de disparo de IGBTs, posteriormente analizada y atribuida al deterioro del cable de fibra óptica. Nótese que el fallo aparece a la misma temperatura que en el ensayo de la tarjeta de sincronización, en la cual se utiliza un cable de las mismas características. De esta manera queda localizado el *upper operating limit*. Adicionalmente se ha detectado un fallo en la tensión generada por la fuente de $\pm 15V$ así como en los LEDs D8 y D14 y en el receptor de pulsos de fibra óptica, los cuales tras un descenso de temperatura no se recuperaron. Posteriormente se realizaron pruebas para localizar el origen de la falta estudiando las distintas partes del circuito y se verificó que la falta fue producida por el deterioro de los transistores (nnp y pnp) de la tarjeta de drivers de ataque a las ramas de IGBTs, los cuales provocaron un cortocircuito ante el cual la propia fuente Push-Pull se trató de proteger. Tras aislar el fallo se comprobó que la fuente funcionaba correctamente así como la etapa y lógica de disparo y fallo de alimentación. Se sustituyeron los componentes defectuosos y se prueba de nuevo la tarjeta; se verifica el correcto funcionamiento de la misma; en este punto se localiza el *upper destruct limit*.

Se establece por tanto al cable de fibra óptica así como los transistores de las ramas de ataque a IGBTs como los elementos débiles de la tarjeta. No obstante estas faltas se localizan muy encima del rango de funcionamiento nominal del equipo no se requiere rediseño de la etapa ya que el dispositivo cumple con las especificaciones de diseño.

Durante el ensayo CSS no se detectaron faltas y el funcionamiento de la tarjeta fue correcto. Se realizó el encendido de la propia tarjeta a temperaturas de -30°C para verificar un correcto arranque en situaciones desfavorables; fue correcto. Esta temperatura está por debajo de la mínima del equipo (-20°C) y es de importancia asegurar que el inversor realice un arranque en frío correcto a estas temperaturas, ya que tras el mismo, el calor disipado por los propios componentes y la inercia del equipo mantendrá la temperatura en rangos nominales. Se han analizado el resto de señales medidas en ambos ensayos; se encuentran dentro de los niveles funcionales del dispositivo.

Tarjeta Drivers IGBTs + Tarjeta conexión



Tras estas pruebas y como líneas futuras se plantea la ampliación de estos ensayos a otras tarjetas de interés como la tarjeta de captaciones o de fuentes, que debido al límite temporal para la realización de este proyecto no han podido ser llevados a cabo. Además se propone la utilización de estos ensayos en fases más tempranas del diseño, en las cuales también son de utilidad, siendo rápidos en la localización de fallos, aumentando fiabilidad y reduciendo el tiempo y el coste del desarrollo, eliminando problemas de diseño antes de la fabricación. Cabe destacar que se ha adquirido recientemente una nueva cámara climática, con un rango térmico de -40°C hasta 180°C y un gradiente térmico de 5°C/min, la cual es más indicada para la realización de estas pruebas y permitirá unos ensayos más rápidos y en un mayor rango térmico, aumentando el espectro de localización de debilidades en el diseño.

Como parte de este proyecto se han llevado a cabo adicionalmente otro tipo de pruebas, montajes y ensayos relacionados con la mejora continua y de prestaciones, algunas de las cuales son explicadas en este documento. Un ejemplo es el de la corrección de algún defecto en el diseño como en el caso de la tarjeta de monitorización de ventiladores, así como la comprobación del correcto funcionamiento tras la implementación de la mejora (para ello se diseñó y ensambló un circuito de prueba).

Una de estas labores ha sido el montaje del prototipo de una tarjeta de prueba de ventiladores, como prueba preliminar antes de su implementación en el proceso de producción; tras ello modifiqué ciertos componentes del circuito para optimizar el funcionamiento de la tarjeta, la cual fue utilizada posteriormente en los ensayos HALT. Otro ejemplo es el del prototipo defectuoso de la tarjeta de captaciones recibido por el montador; esta tarjeta está diseñada y probada por personal de *Ingeteam* pero es relativamente común que presenten fallos los primeros prototipos debidos a algún fallo durante el montaje o pequeña disconformidad en el diseño. Para ello me encargué de analizar un prototipo de los mencionados anteriormente para localizar el origen del fallo, que en este caso se debió a la incorrecta soldadura de unos determinados componentes; de esta manera se contactó con el montador para evitar el mismo fallo en tarjetas posteriores. Todo ello contribuye a prevenir que este fallo se en etapas posteriores del producto, reduciendo el coste asociado a su corrección y mejorando la fiabilidad del equipo.

Para la verificación del correcto funcionamiento de los inversores deben pasar una serie de pruebas determinadas en la norma IEC 62109. Esta norma es esencial para el diseñador de inversores, estableciendo estándares de seguridad y fiabilidad en los equipos. Mi contribución en este aspecto fue la de la preparación de un montaje para pasar la prueba de medida de aislamiento, la cual comprueba el correcto funcionamiento del algoritmo utilizado para la desconexión de red en caso de aislamiento insuficiente y fue utilizado por personal de *Ingeteam* en una de las primeras instalaciones de inversores *Ingecon Sun Power Max Monoblock*.

6. ÍNDICE DE IMAGENES

IMAGEN 1. ARMARIO ACOMETIDAS Y DE POTENCIA DE EQUIPO <i>MONOBLOCK</i> [7]	9
IMAGEN 2. INTERIOR DE ARMARIO ACOMETIDAS Y DE POTENCIA [7]	9
IMAGEN 3. LÍMITES DEL PRODUCTO.....	11
IMAGEN 4. DIAGRAMA DE FLUJO ENSAYO CSS.....	12
IMAGEN 5. DIAGRAMA DE FLUJO DE ENSAYO HSS.....	13
IMAGEN 6. TARJETA SINCRONIZACIÓN FIBRA ÓPTICA (FLECHA ROJA) [7]	17
IMAGEN 7. SISTEMA CONEXIÓN ESTRELLA.....	17
IMAGEN 8. CIRCUITO LÓGICA MAESTRO-ESCLAVO I [9].....	18
IMAGEN 9. CIRCUITO LÓGICA MAESTRO-ESCLAVO II [9].....	18
IMAGEN 10. DISPOSICIÓN BANCADA ENSAYOS FIBRA I.....	19
IMAGEN 11. DISPOSICIÓN BANCADA ENSAYOS FIBRA II.....	20
IMAGEN 12. DISPOSICIÓN BANCADA ENSAYOS FIBRA III.....	21
IMAGEN 13. DISPOSICIÓN FINAL BANCO DE ENSAYOS.....	21
IMAGEN 14. CONFIGURACIÓN IMPLEMENTACIÓN TABLA DE VERDAD 1.....	22
IMAGEN 15. IMPLEMENTACIÓN TABLA DE VERDAD 2.....	22
IMAGEN 16. TARJETA FIBRA ÓPTICA EN INTERIOR DE LA CÁMARA.....	24
IMAGEN 17. REGISTRADOR DE DATOS Y TARJETA MULTIPLEXORA.....	24
IMAGEN 18. TARJETAS AUXILIARES Y APARAMENTA DE MEDIDA.....	26
IMAGEN 19. CAPTURAS SINCRONIZACIÓN.....	30
IMAGEN 20. ZOOM CAPTURAS SINCRONIZACIÓN.....	31
IMAGEN 21. INTRODUCCIÓN SEÑAL EXTERNA DESDE EXTERIOR HACIA DUT.....	31
IMAGEN 22. CABLE DETERIORADO FIBRA ÓPTICA I.....	34
IMAGEN 23. CABLE DETERIORADO FIBRA ÓPTICA II.....	35
IMAGEN 24. SEÑAL SYNCH_IN MAESTRO (AMARILLO) Y SEÑAL SYNCH_EXT ESCLAVO (VERDE).....	35
IMAGEN 25. SEÑAL SYNCH_IN MAESTRO (AMARILLO) Y SEÑAL SYNCH_EXT ESCLAVO (VERDE).....	35
IMAGEN 26. CARACTERÍSTICA VARIACIÓN DE FRECUENCIA VS TEMPERATURA DE LTC6900 [14].....	37
IMAGEN 27. CAPTURAS FALLO.....	37
IMAGEN 28. MODIFICACIÓN CIRCUITO FIBRA ÓPTICA.....	39
IMAGEN 29. FLUJO DE AIRE VENTILADORES Y SITUACIÓN TARJETA DE MONITORIZACIÓN DE VENTILADORES (FLECHA ROJA) [7].....	41
IMAGEN 30. CIRCUITO FALLO VENTILADORES [10].....	41
IMAGEN 31. SEÑALES DETECCIÓN FALLO VENTILADORES I.....	42
IMAGEN 32. CIRCUITO VENTILADOR BOBINA [10].....	42
IMAGEN 33. BANCADA DE ENSAYOS PARA TARJETA MONITORIZACIÓN DE VENTILADORES.....	43
IMAGEN 34. FOTOGRAFÍAS ENSAYOS TARJETA VENTILADORES.....	44
IMAGEN 35. SEÑAL DETECCIÓN FALLO VENTILADORES II.....	46
IMAGEN 36. CIRCUITOS DE TEST TARJETA MONITORIZACIÓN VENTILADORES.....	47
IMAGEN 37. MEDIDA DE SEÑAL DE ERROR DURANTE HALT.....	52
IMAGEN 38..LTC6900 CLOCK GENERATOR.....	56
IMAGEN 39. VARIACIÓN R CON T ^a	56
IMAGEN 40. CIRCUITO FALLO VENTILADORES [10].....	57
IMAGEN 41. CIRCUITO ALIMENTACIÓN TARJETA DE FUENTES [10].....	59
IMAGEN 42. ESQUEMA SITUACIÓN SAC EN CONJUNTO DEL EQUIPO.....	64
IMAGEN 43. CIRCUITO DETECCIÓN PASO POR CERO [11].....	65
IMAGEN 44. SITUACIÓN TARJETA CSS DENTRO DEL EQUIPO (ENMARCADA EN ROJO) [7].....	65
IMAGEN 45. ESQUEMA MONTAJE CSS PARA ENSAYOS HALT.....	66
IMAGEN 46. TENSIÓN DE RED (VERDE) Y CUADRADA SINCRONIZACIÓN SINC(AMARILLA).....	67
IMAGEN 47. TARJETA CSS EN INTERIOR DE LA CÁMARA.....	68
IMAGEN 48. FOTOGRAFÍAS DEL BANCO DE PRUEBAS ENSAYO TARJETA CSS.....	68
IMAGEN 49. CAPTURA DE OSCILOSCOPIO DEL ARRANQUE DE LA SAC DURANTE CSS (-20°C).....	71

IMAGEN 50. CAPTURA DE LA TENSIÓN “CHOPEADA”	72
IMAGEN 51. CIRCUITO CAPTACIÓN TENSIÓN DE BUS TARJETA SAC [11]	79
IMAGEN 52. CIRCUITO CAPTACIÓN ADC STM32F.	83
IMAGEN 53. CIRCUITO SALIDA CONTACTOR SAC [11].....	89
IMAGEN 54. CARGA/DESCARGA CONDENSADOR.	90
IMAGEN 55. SITUACIÓN DE TARJETA MEDIDA VPANEL EN CONJUNTO MONOBLOCK [7]	93
IMAGEN 56. FOTOGRAFÍA TARJETA MEDIDA VPANEL.....	93
IMAGEN 57. CIRCUITO LIMITADOR TENSIÓN [12].....	94
IMAGEN 58. ANÁLISIS EN BOMBA CORRIENTE HOWLAND.....	94
IMAGEN 59. MONTAJE TARJETA MEDIDA VPANEL.	96
IMAGEN 60. TARJETA MEDIDA VPANEL EN INTERIOR DE CÁMARA CLIMÁTICA	97
IMAGEN 61. BANCO DE ENSAYOS MEDIDA VPANEL.....	97
IMAGEN 62. COMPROBACIÓN FUNCIONAMIENTO LEDs TARJETA MEDIDA VPANEL	106
IMAGEN 63. SITUACIÓN TARJETA DRIVERS EN EQUIPO MONOBLOCK [7]	111
IMAGEN 64. TARJETA DRIVERS IGBT	111
IMAGEN 65 TOPOLOGÍA PUSH-PULL BÁSICA.	112
IMAGEN 66. ESQUEMA DEL TRANSFORMADOR FUENTE PUSH-PULL [13]	113
IMAGEN 67. ESQUEMA CIRCUITO LÓGICA TRANSMISIÓN TARJETA DRIVERS [13].....	113
IMAGEN 68. CIRCUITO DISPARO PUERTA IGBT [13]	114
IMAGEN 69. TARJETA DE DRIVERS JUNTO CON TARJETA DE CONEXIÓN E IGBTs.	114
IMAGEN 70. TARJETA DE PRUEBA AAS7909.	114
IMAGEN 71. CAPTURAS DISPARO PUERTA IGBT.....	116
IMAGEN 72. DIFERENCIA DE TIEMPOS PULSOS SINCRONIZACIÓN.....	116
IMAGEN 73. CIRCUITO FALLO ALIMENTACIÓN TARJETA DRIVERS [13]	117
IMAGEN 74. CIRCUITO TRANSMISIÓN DE ERROR TARJETA DRIVERS [13]	117
IMAGEN 75. RECEPCIÓN DISPAROS TARJETA CONEXIÓN DRIVERS A IGBT [13]	118
IMAGEN 76. DISPOSICIÓN BANCADA DE ENSAYOS ENSAYO TARJETA DRIVERS.....	118
IMAGEN 77. CAPTURA DE OSCILOSCOPIO ENSAYO HSS.	120
IMAGEN 78. CIRCUITO DISPARO IGBT (TARJETA CONEXIÓN) [13]	128
IMAGEN 79. CABLE DETERIORADO FIBRA TRAS ENSAYO HSS TARJETA DRIVERS	129
IMAGEN 80. PRUEBAS EN TARJETA DRIVERS TRAS FALLO	130
IMAGEN 81. CAPTURAS PRUEBAS POST FALLO DRIVERS I.....	131
IMAGEN 82. PUNTOS DE PRUEBAS EN FUENTE TARJETA DRIVERS.....	132
IMAGEN 83. TERMOGRAFÍAS TARJETA DRIVERS.....	132
IMAGEN 84. CAPTURAS PRUEBAS POST FALLO DRIVERS II.....	133
IMAGEN 85. CAPTURAS PRUEBAS POST FALLO DRIVERS I.....	133
IMAGEN 86. CAPTURAS PRUEBAS POST FALLO DRIVERS IV.....	134
IMAGEN 87. CAPTURAS PRUEBAS POST FALLO DRIVERS V.....	134
IMAGEN 88. DISPARO RAMA TRANSISTORES TARJETA DRIVERS I.	135
IMAGEN 89. DISPARO RAMA TRANSISTORES TARJETA DRIVERS II	135
IMAGEN 90. CIRCUITO CARGA CONDENSADORES.....	137
IMAGEN 91. PRUEBA CARGA/DESCARGA CONDENSADORES.....	138
IMAGEN 92. SALIDA CAPTACIÓN CON ENTRADA SENOIDAL. RESULTADO INCORRECTO	139
IMAGEN 93. MEDIDA ENTRADA A CIRCUITO CAPTACIÓN	139
IMAGEN 94. SALIDA SUMADOR (ONDA AMARILLA) Y SALIDA OPERACIONAL (TURQUESA)	140
IMAGEN 95. SALIDA SUMADOR INVERTIDA (AMARILLO), SALIDA CAPTACIÓN (VERDE) Y OFFSET (ROSA)	140
IMAGEN 96. ESQUEMA CAPTACIÓN TENSIÓN [24]	141
IMAGEN 97. LECTURAS CAPTACIÓN CAP_I_13	141
IMAGEN 98. ESQUEMA GENERACIÓN OFFSET [24]	142
IMAGEN 99. LECTURAS CAPTACIÓN CORRIENTE TRAS CORRECCIÓN FALTA.....	142
IMAGEN 100. MONTAJE PRUEBA IEC 62109 MEDIDA DE AISLAMIENTO.....	143

7. ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. PRUEBAS FIABILIDAD EN FASES PRODUCTO	11
TABLA 2. INSTRUMENTACIÓN	14
TABLA 3. CARACTERÍSTICAS CÁMARA CLIMÁTICA	15
TABLA 4. CARACTERÍSTICAS REGISTRADOR DE DATOS I.....	15
TABLA 5. CARACTERÍSTICAS REGISTRADOR DE DATOS II.....	16
TABLA 6. CARACTERÍSTICAS REGISTRADOR DE DATOS III.....	16
TABLA 7. LÓGICA MAESTRO-ESCLAVO	18
TABLA 8. TABLA VERDAD TARJETA FIBRA ÓPTICA	21
TABLA 9. ENSAYO FUNCIONAL HSS TARJETA FIBRA ÓPTICA I	25
TABLA 10. ENSAYO FUNCIONAL HSS TARJETA FIBRA ÓPTICA II	26
TABLA 11. ENSAYO FUNCIONAL CSS TARJETA FIBRA ÓPTICA I	28
TABLA 12. ENSAYO FUNCIONAL CSS TARJETA FIBRA ÓPTICA II	29
TABLA 13. ENSAYO FUNCIONAL CSS TARJETA FIBRA ÓPTICA III	30
TABLA 14. ENSAYO MONITORIZACIÓN HSS TARJETA FIBRA ÓPTICA	32
TABLA 15. ENSAYO MONITORIZACIÓN CSS TARJETA FIBRA ÓPTICA.....	33
TABLA 16. PRUEBA VENTILADOR BOBINA.....	45
TABLA 17. ENSAYO FUNCIONAL HSS TARJETA MONITORIZACIÓN VENTILADORES I.....	48
TABLA 18. ENSAYO FUNCIONAL HSS TARJETA MONITORIZACIÓN VENTILADORES II.....	49
TABLA 19. ENSAYO FUNCIONAL CSS TARJETA MONITORIZACIÓN VENTILADORES I	50
TABLA 20. ENSAYO FUNCIONAL CSS TARJETA MONITORIZACIÓN VENTILADORES II	51
TABLA 21. ENSAYO MONITORIZACIÓN HSS TARJETA MONITORIZACIÓN VENTILADORES	53
TABLA 22. ENSAYO MONITORIZACIÓN CSS TARJETA MONITORIZACIÓN VENTILADORES	54
TABLA 23. CARACTERÍSTICAS ZENER I [17]	58
TABLA 24. CARACTERÍSTICAS ZENER II [17]	60
TABLA 25. ALIMENTACIONES INTEGRADOS TARJETA MONIT. VENTILADORES	62
TABLA 26. MONITORIZACIÓN CONTINUA TARJETA CSS	68
TABLA 27. ENSAYO FUNCIONAL HSS TARJETA SAC I.....	70
TABLA 28. ENSAYO FUNCIONAL HSS TARJETA SAC II.....	72
TABLA 29. ENSAYO FUNCIONAL CSS TARJETA SAC I	73
TABLA 30. ENSAYO FUNCIONAL CSS TARJETA SAC II	74
TABLA 31. ENSAYO MONITORIZACIÓN HSS TARJETA SAC.....	75
TABLA 32. ENSAYO MONITORIZACIÓN CSS TARJETA SAC	77
TABLA 33. RESULTADOS ENSAYOS MEDIDA CAPTACIÓN BUS ENSAYO I	81
TABLA 34. LECTURAS ADC TARJETA SAC ENSAYO II	84
TABLA 35. ENSAYO FUNCIONAL HSS TARJETA MEDIDA VPANEL I.....	98
TABLA 36. ENSAYO FUNCIONAL HSS TARJETA MEDIDA VPANEL II.....	99
TABLA 37. ENSAYO FUNCIONAL CSS TARJETA MEDIDA VPANEL I	101
TABLA 38. ENSAYO FUNCIONAL CSS TARJETA MEDIDA VPANEL II	102
TABLA 39. ENSAYO MONITORIZACIÓN HSS TARJETA MEDIDA VPANEL	102
TABLA 40. ENSAYO MONITORIZACIÓN HSS TARJETA MEDIDA VPANEL	104
TABLA 41. LECTURAS PRUEBAS CAPTACION TARJETA MEDIDA VPANEL CON VBUS 558 V.....	107
TABLA 42. LECTURAS PRUEBAS CAPTACION TARJETA MEDIDA VPANEL CON VBUS 1000 V.....	107
TABLA 43. ENSAYO FUNCIONAL HSS T. DRIVERS + T.CONEXIÓN	120
TABLA 44. ENSAYO FUNCIONAL HSS T. DRIVERS + T.CONEXIÓN	121
TABLA 45. ENSAYO FUNCIONAL CSS T. DRIVERS + T.CONEXIÓN	122
TABLA 46. ENSAYO FUNCIONAL CSS T. DRIVERS + T.CONEXIÓN	123
TABLA 47. ENSAYO MONITORIZACIÓN HSS TARJETA DRIVERS + CONEXIÓN.....	124
TABLA 48. ENSAYO MONITORIZACIÓN CSS TARJETA DRIVERS + CONEXIÓN	125

8. ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA 1. GRÁFICA QUE MUESTRA LA EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA AMBIENTE EN UN TEST CSS	12
GRÁFICA 2. GRÁFICA QUE MUESTRA LA EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA AMBIENTE EN UN TEST HSS	13
GRÁFICA 3. EJEMPLO ENSAYO RTC	14
GRÁFICA 4. T. FIBRA ÓPTICA HSS: T _a PCB, P24 Y P5 VS TIEMPO	32
GRÁFICA 5. T. FIBRA ÓPTICA HSS: T _a PCB Y ALIM_5V VS TIEMPO	33
GRÁFICA 6. GRÁFICA 7. T. FIBRA ÓPTICA CSS: T _a PCB Y CLOCK VS TIEMPO	34
GRÁFICA 8. T. FIBRA ÓPTICA CSS: T _a PCB Y CLOCK VS TIEMPO ZOOM.....	36
GRÁFICA 9. RESULTADOS ENSAYOS HALT TARJETA FIBRA ÓPTICA	40
GRÁFICA 10. T. MONIT. VENTILADORES HSS: T _a PCB, PWM_IND Y P15 VS TIEMPO.....	53
GRÁFICA 11. T. MONIT. VENTILADORES HSS: T _a PCB Y EQUILIBRADO BUS VS TIEMPO	54
GRÁFICA 12. T. MONIT. VENTILADORES CSS: T _a PCB Y EQUILIBRADO BUS VS TIEMPO.....	55
GRÁFICA 13. T. MONIT. VENTILADORES HSS: T _a PCB, PWM_IND Y P15 VS TIEMPO.....	55
GRÁFICA 14. T. MONIT. VENTILADORES HSS: T _a PCB, PWM_IND Y P15 VS TIEMPO.....	57
GRÁFICA 15. T. MONIT. VENTILADORES: Tensión Alimentación Límite y Corriente vs Resistencia R47	59
GRÁFICA 16. CARACTERÍSTICA TEMPCO-VZ.	60
GRÁFICA 17. T. MONIT. VENTILADORES CSS: PWM_IND Y T _a PCB VS TIEMPO	61
GRÁFICA 18. RESULTADOS ENSAYOS HALT TARJETA MONITORIZACIÓN VENTILADORES.....	63
GRÁFICA 19. T. SAC HSS: V_BUS, V_CONTACTOR Y T _a PCB Y P5 VS TIEMPO	76
GRÁFICA 20. T. SAC HSS: V_SALIDA_J2, V_RED Y T _a PCB VS TIEMPO.....	76
GRÁFICA 21. T. SAC CSS: V_SALIDA_J2 Y V_RED VS TIEMPO	77
GRÁFICA 22. ERRORES EN TENSIONES PARADA/REARRANQUE VS TEMPERATURA	78
GRÁFICA 23. T. SAC: VIN_MIC Y T _a VS TIEMPO.....	80
GRÁFICA 24. T. SAC: VPAT_INVERSORA Y T _a VS TIEMPO.....	80
GRÁFICA 25. T. SAC: VIN_MIC Y T _a VS TIEMPO.....	81
GRÁFICA 26. T. SAC: VIN_MIC (LÍMITE TEÓRICO) Y T _a VS TIEMPO	82
GRÁFICA 27. T. SAC HSS: V_SALIDA_J2, V_RED Y T _a VS TIEMPO	85
GRÁFICA 28. T. SAC: P5 Y T _a VS TIEMPO.....	86
GRÁFICA 29. QUIESCENT CURRENT VS JUNCTION TEMPERATURE EN MC7805.....	86
GRÁFICA 30. QUIESCENT CURRENT EN UN LDO	86
GRÁFICA 31. T. SAC HSS: VIN-VOUT Y T _a PCB VS TIEMPO.....	87
GRÁFICA 32. OUTPUT CURRENT VS INPUT/OUTPUT VOLTAGE DIFFERENTIAL EN MC7805.	87
GRÁFICA 33. T. SAC HSS: P24_SAC, P5 Y T _a VS TIEMPO	88
GRÁFICA 34. CARACTERÍSTICA Tensión Salida – Temperatura Unión del Regulador MC7805.....	88
GRÁFICA 35. EVOLUCIÓN V_R11 EN ENSAYOS HSS Y CSS TARJETA SAC	91
GRÁFICA 36. RESULTADOS ENSAYOS HALT TARJETA SAC.....	92
GRÁFICA 37. T. MEDIDA VPANEL HSS: T _a PCB, P24(ESCALA 1/5) Y P5 VS TIEMPO	103
GRÁFICA 38. T. MEDIDA VPANEL HSS: P5, P5_ISO, T _a PCB Y P24(ESCALA 1/5) VS TIEMPO	103
GRÁFICA 39. T. MEDIDA VPANEL: P5, P5_ISO, P24 FUENTE Y T _a VS TIEMPO	104
GRÁFICA 40. T. MEDIDA VPANEL HSS: VOUT, VIN, P24 FUENTE Y T _a VS TIEMPO.....	107
GRÁFICA 41. RESULTADOS ENSAYOS HALT MEDIDA VPANEL.....	110
GRÁFICA 42. FORMAS DE ONDA CONVERTIDOR PUSH – PULL.	112
GRÁFICA 43. T. DRIVERS HSS: GATE_IGBT, P15_FUENTE (ESCALADO 1/245) Y T _a VS TIEMPO	124
GRÁFICA 44. T. DRIVERS HSS: SEÑALES ERROR, P15_FUENTE Y T _a VS TIEMPO	125
GRÁFICA 45. T. DRIVERS CSS: SEÑALES ERROR Y T _a VS TIEMPO	126
GRÁFICA 46. T. DRIVERS+ CONEXIÓN HSS: GATE_IGBT, P15_FUENTE(ESCALADO 1/245) Y T _a VS TIEMPO	126
GRÁFICA 47. T. DRIVERS + CONEXIÓN HSS: POLARIZACIÓN DISPARO DE FIBRA, P15_FUENTE Y T _a VS TIEMPO.....	129
GRÁFICA 48. RESULTADOS ENSAYOS HALT TARJETA DRIVERS+ TARJETA CONEXIÓN.....	136

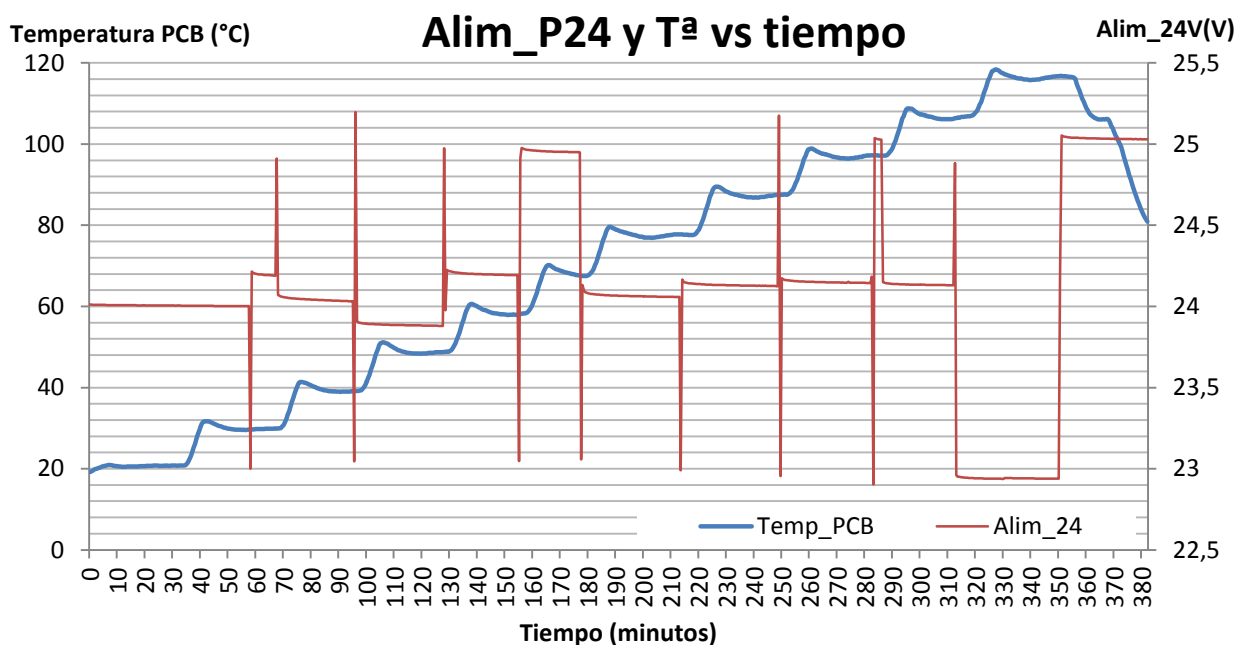
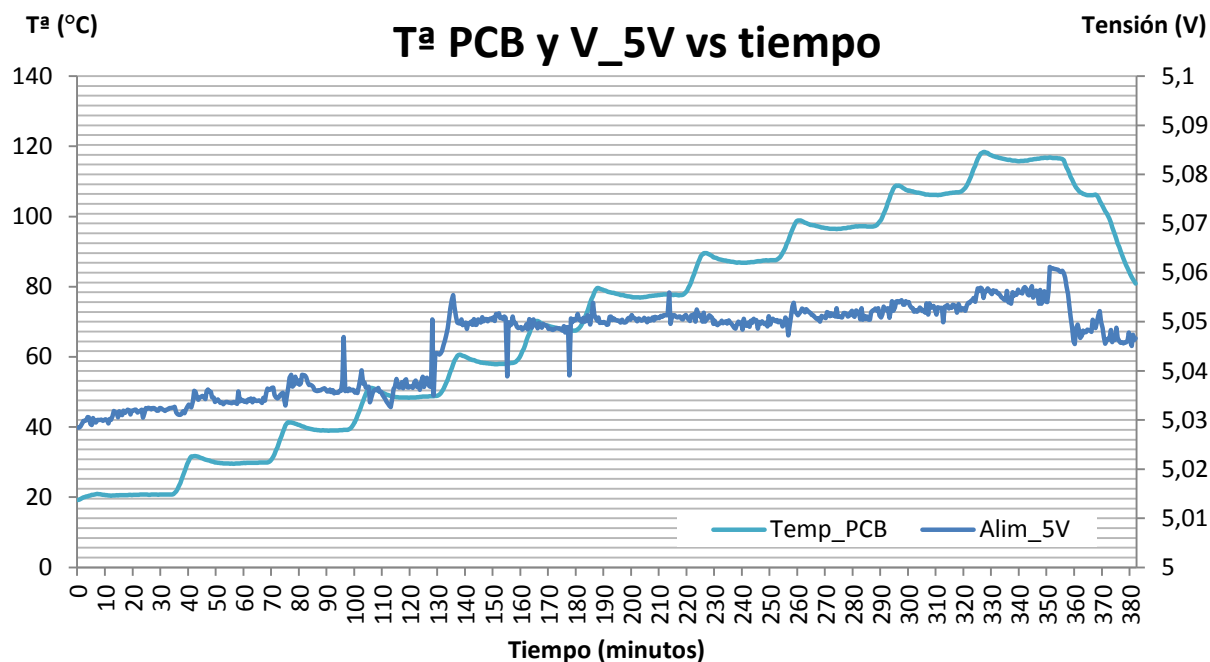
9. BIBLIOGRAFÍA

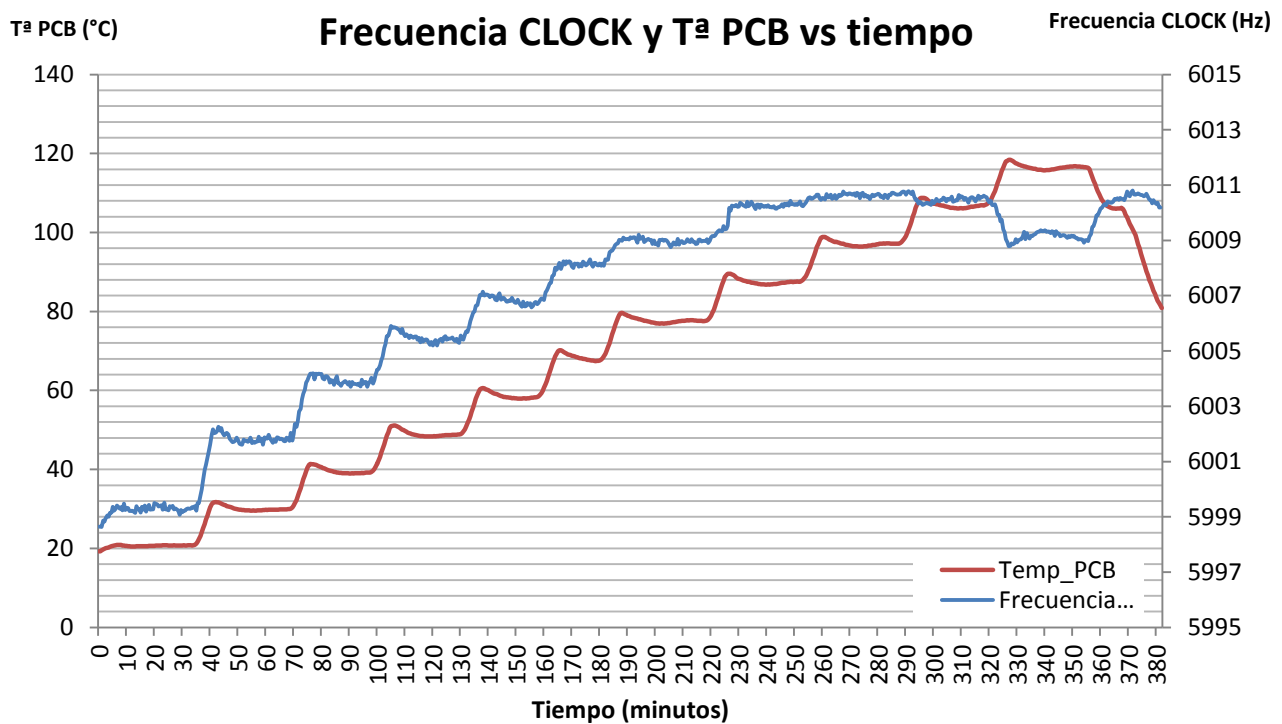
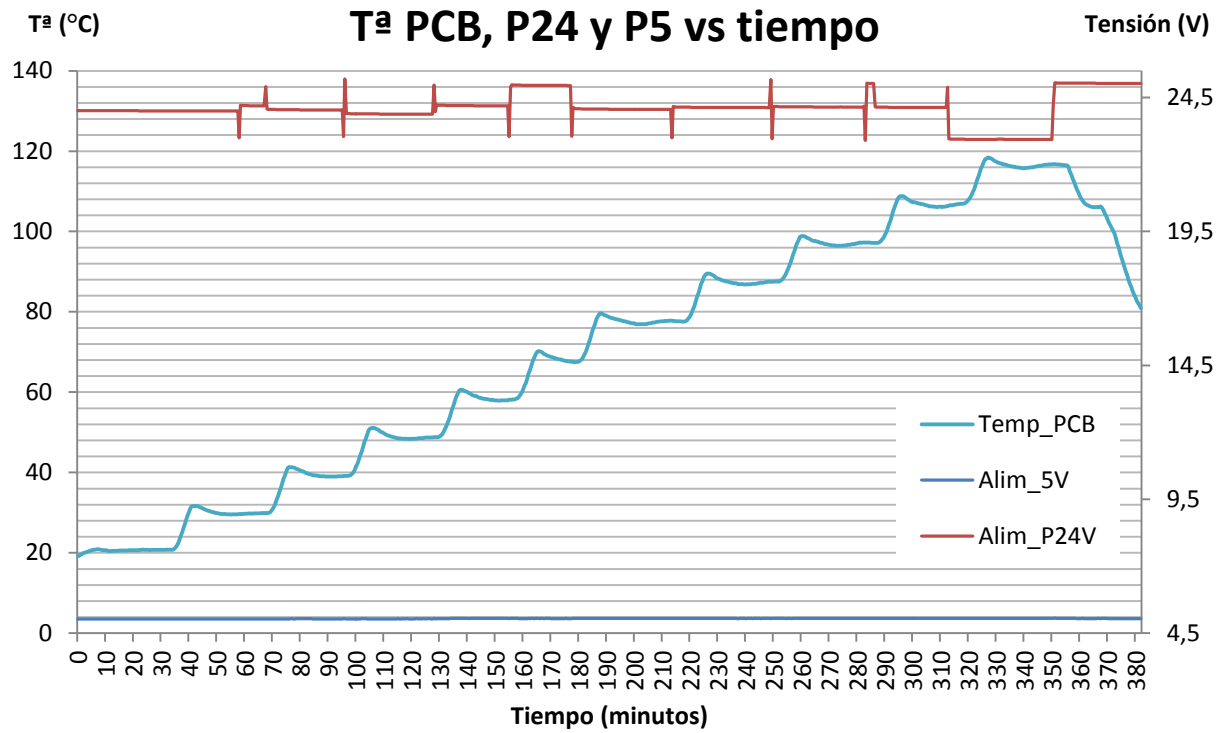
- [1]. *Ten things you should know about HALT & HASS*. **Barnard, Albertyn**. Hatfield : IEEE Explore, 2012.
- [2]. *HALT vs ALT*. **Silverman, Mike**. s.l. : IEEE Reliability Society, 2005.
- [3]. *Fundamentals of HALT testing*. **Kethley Instruments**. 2010.
- [4]. *IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology*. **IEEE**. New York : s.n., 1990.
- [5]. *Operating instructions for thermostatic and climatic chambers*. **Angelantoni industrie S.A.** 1998.
- [6]. *Agilent 34970/34972A Data acquisition/switch unit User's guide*. **Agilent Technologies**. 2012.
- [7]. *Solar Energy Solutions Product Catalogue* . **Ingeteam**. 2016.
- [8]. *Doc. interna descripción tarjeta sincronización*. **Ingeteam**. 2015.
- [9]. *Doc. interna esquema tarjeta sincronización*. **Ingeteam**. 2015.
- [10]. *Doc. interna esquema tarjeta monitorización ventiladores*. **Ingeteam**. 2015.
- [11]. *Doc. interna esquema tarjeta CSS*. **Ingeteam**. 2015.
- [12]. *Doc. interna esquema tarjeta medida tensión panel*. **Ingeteam**. 2015.
- [13]. *Doc. interna esquema tarjeta drivers*. **Ingeteam**. 2015.
- [14]. *LTC6900 Low Power Resist Set Oscillator*. **Linear Technologies**.
- [15]. *Resistor Selection*. **Ohmite Resistors Inc**.
- [16]. *Zener Voltage Regulation with temperature*. **Microsemi Corp**.
- [17]. *Zener diodes* . **Vishay** . 2012.
- [18]. *ST microcontroller datasheet*. **ST Microelectronics**. 2015.
- [19]. *LDO datasheet*. **ON Semiconductor**. 2014.
- [20]. *Understanding the terms and definitions of LDO Voltage regulators*. **Texas Instruments**. 1999.
- [21]. *Power Electronics Handbook*. **Rashid, Muhammad H**. s.l. : Academic Press, 2001.
- [22]. *Dc-DC Converter Application Note using Push-Pull topology*. **Texas Instruments**. 2015.
- [23]. *IEC 62109-2-2010*. **IEC**. 2010.
- [24]. *Power Electronics and Drives*. **Mohan, Ned**. s.l. : MNPERE, 2003.
- [25]. *Doc. interna tarjeta captaciones*. **Ingeteam**. 2016.
- [26]. *IRF7380 Application note*. **International Rectifier**. 2013.

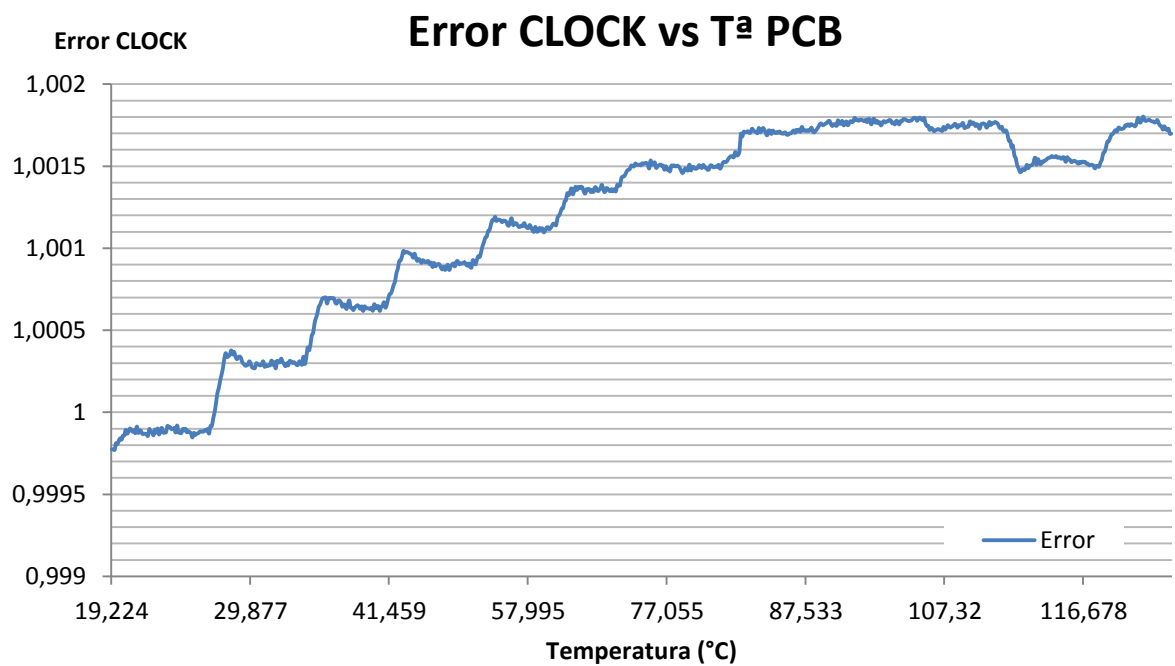
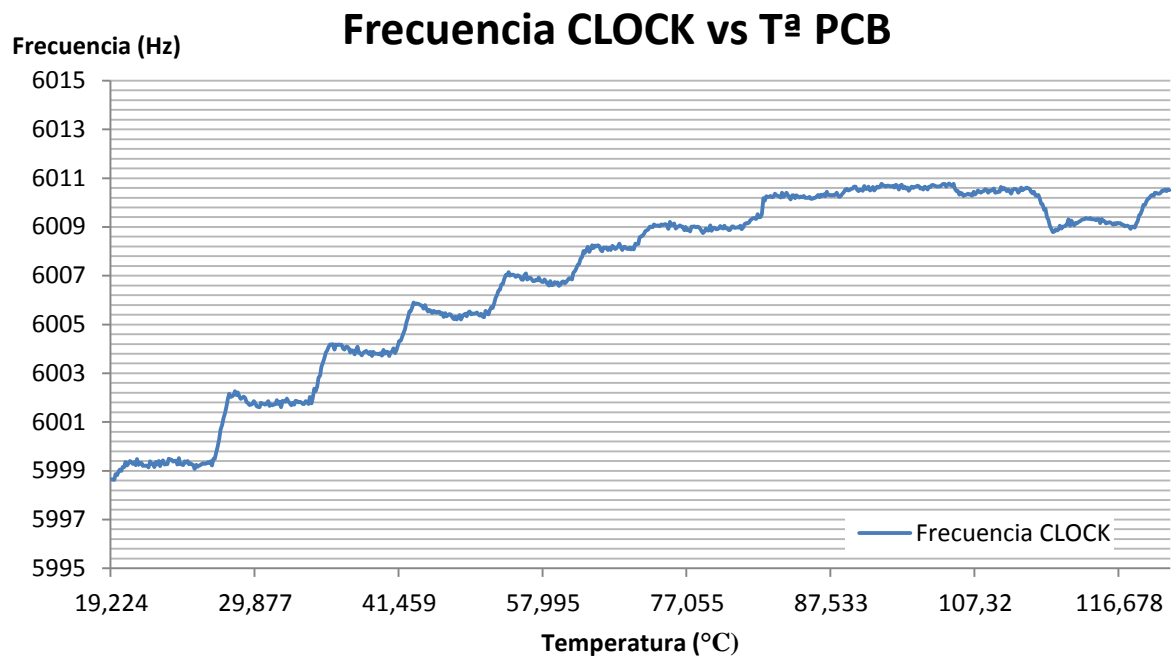
10. ANEXO I

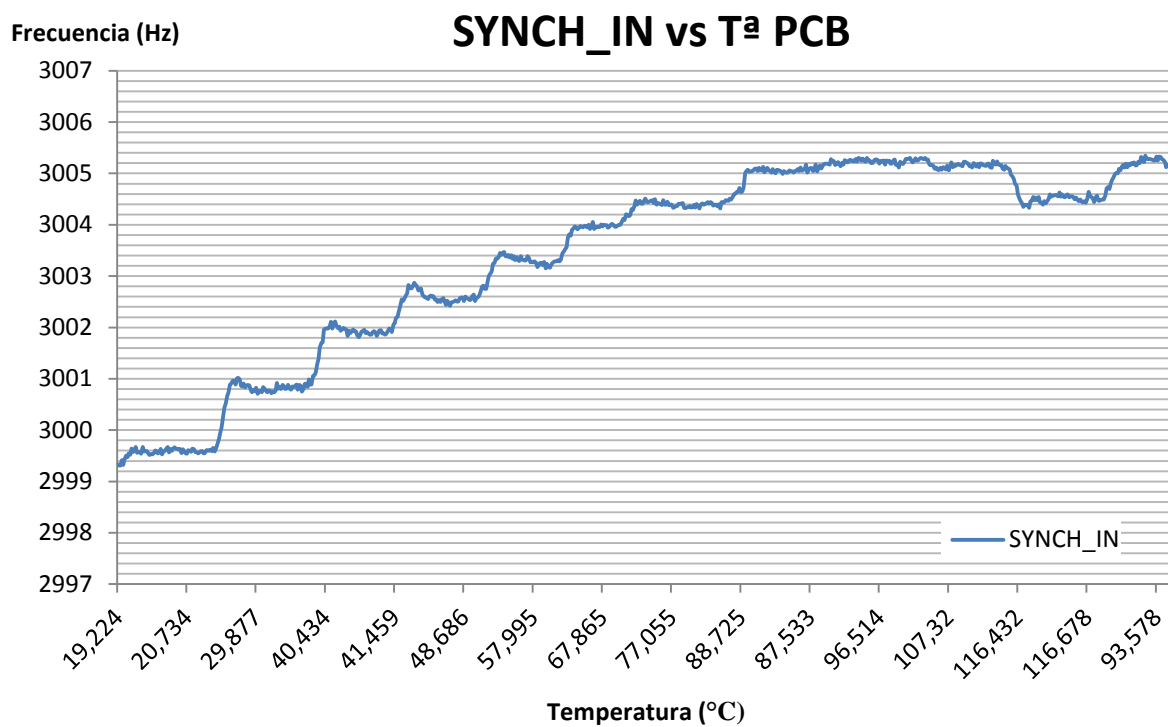
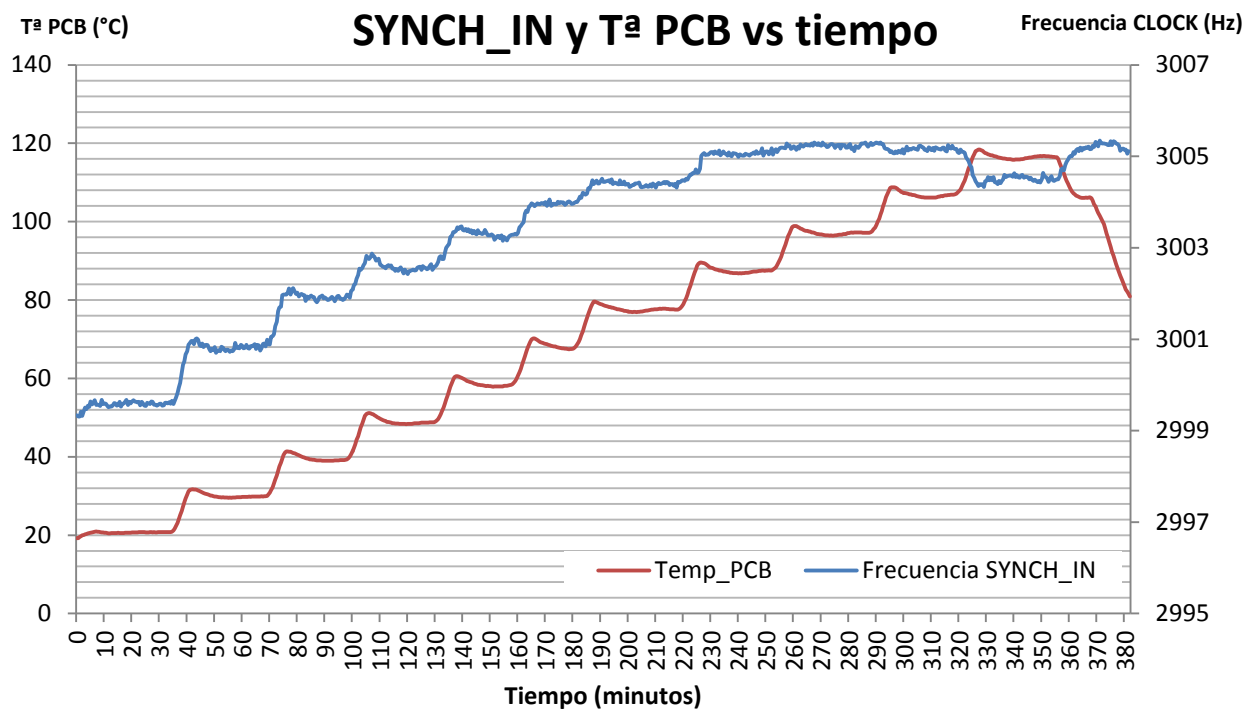
1 Ensayo Tarjeta sincronización fibra óptica

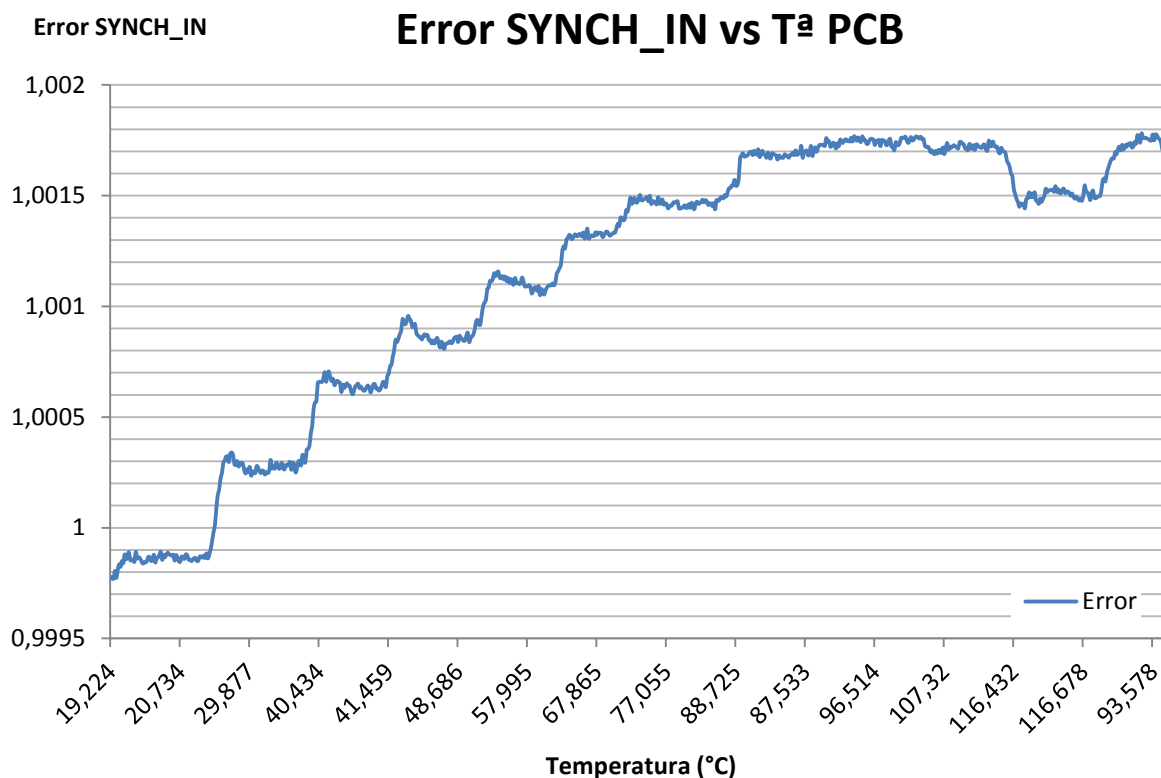
1.1HSS



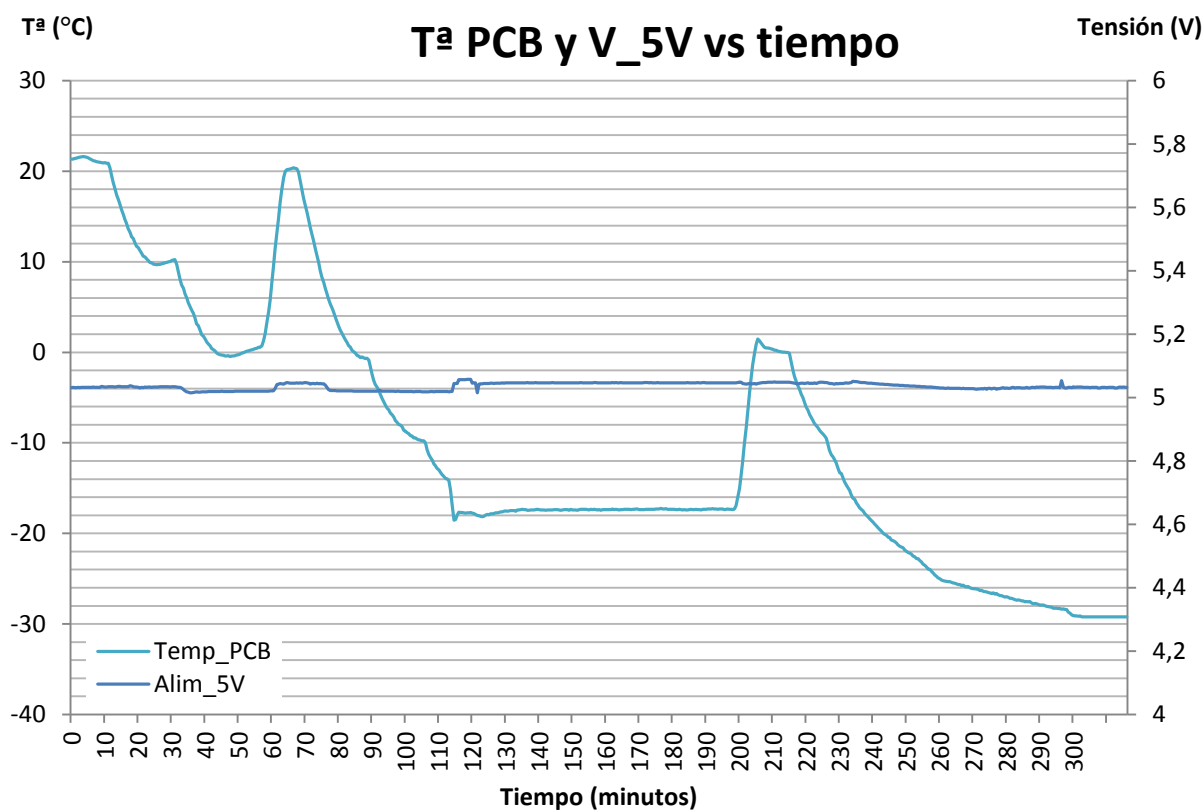


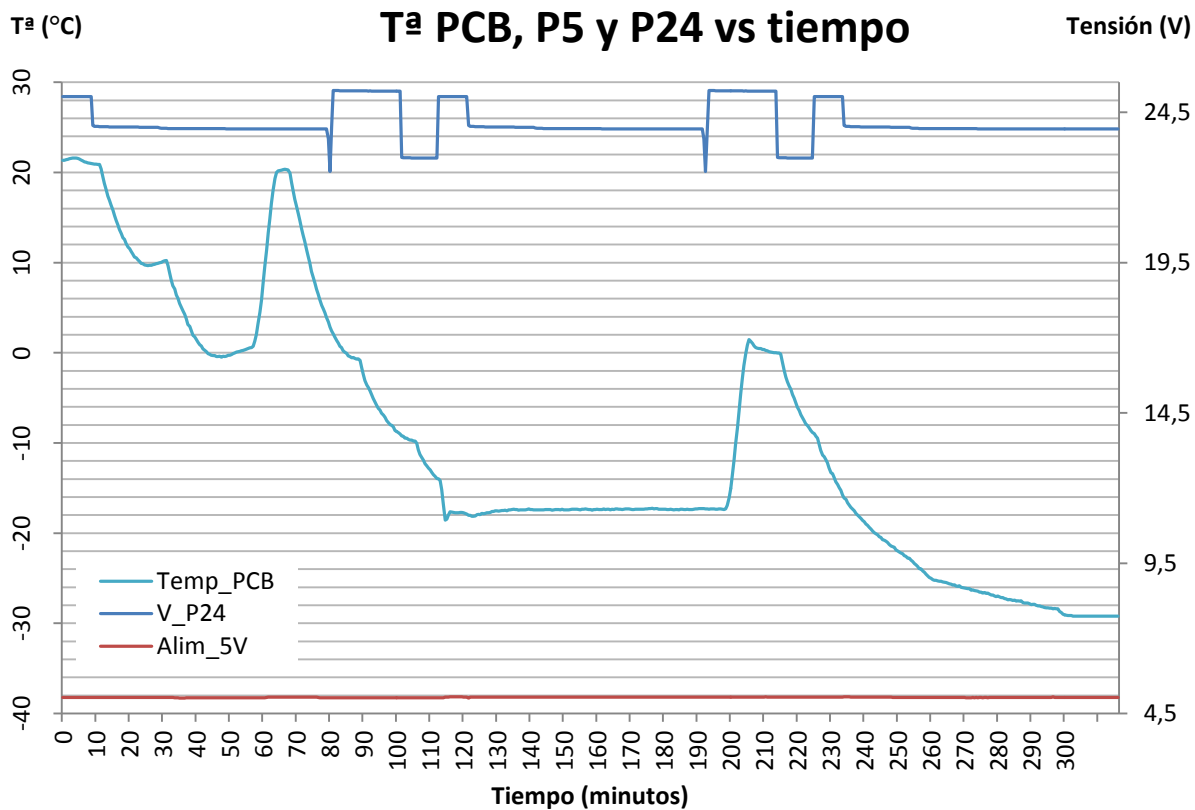
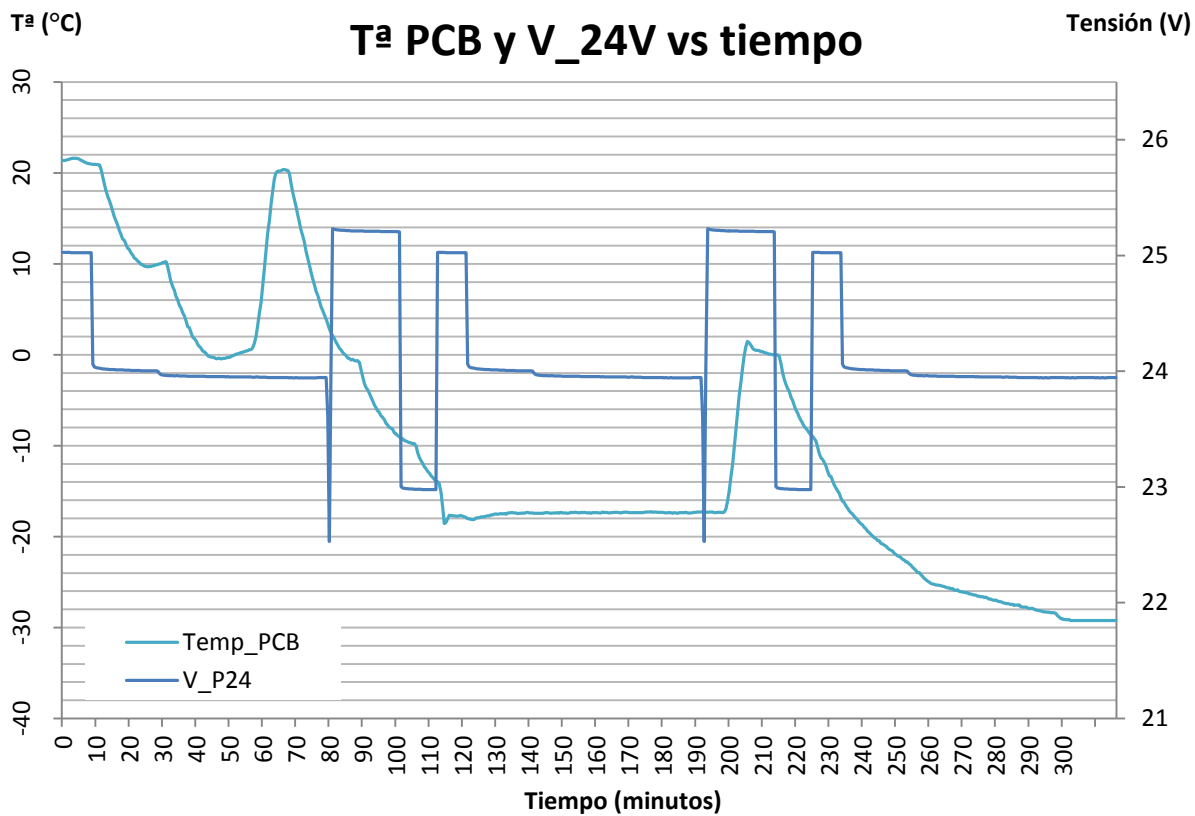


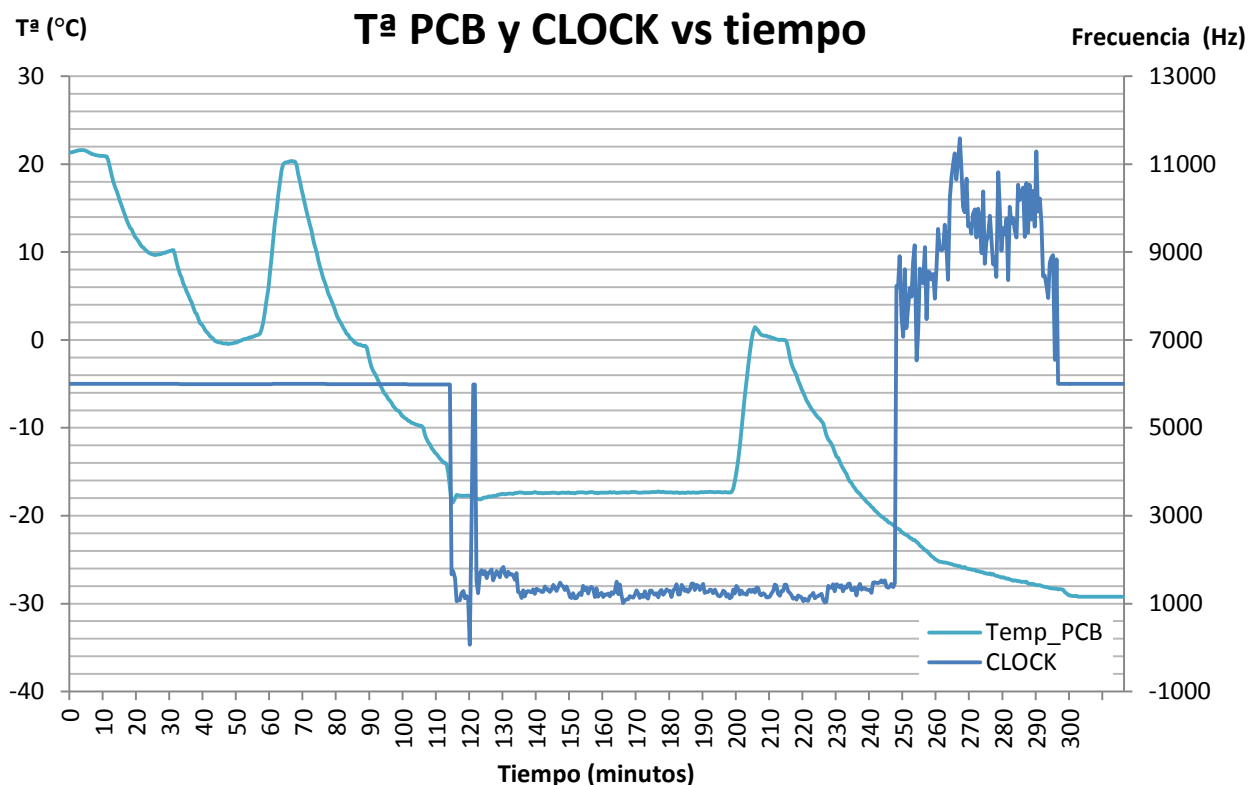




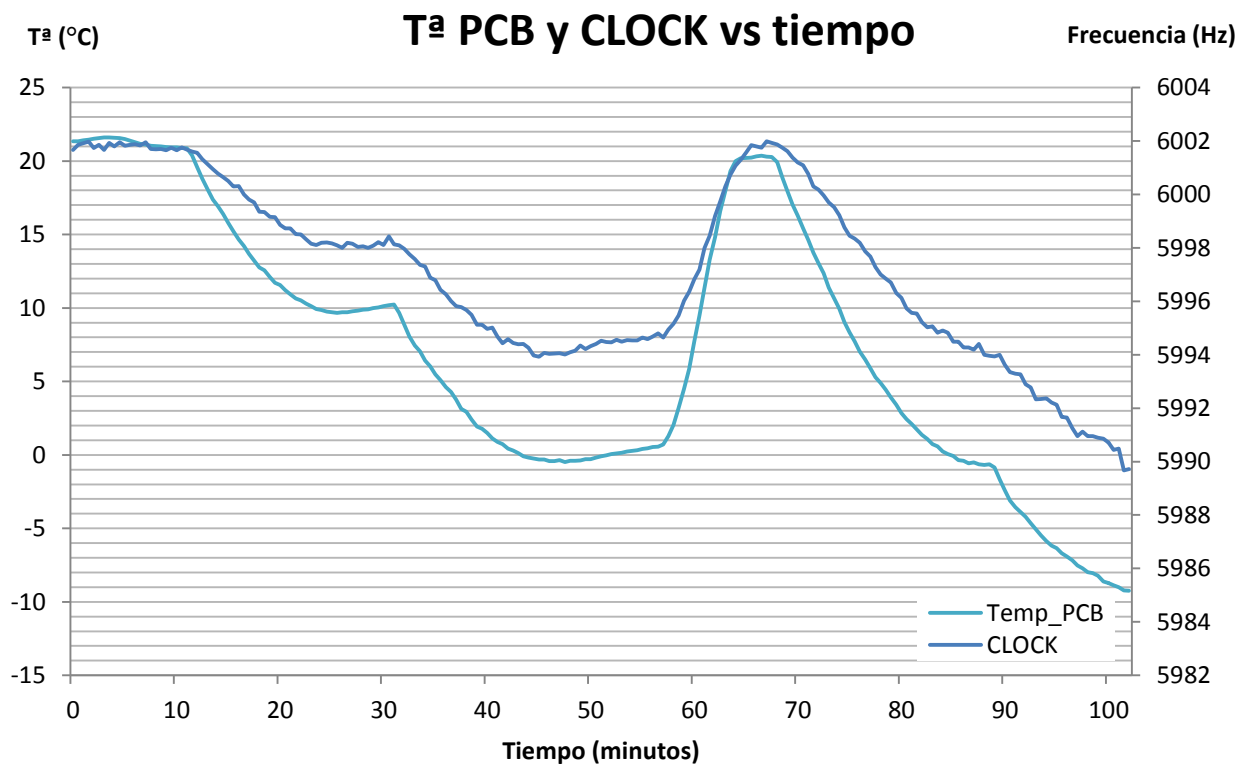
1.2 CSS

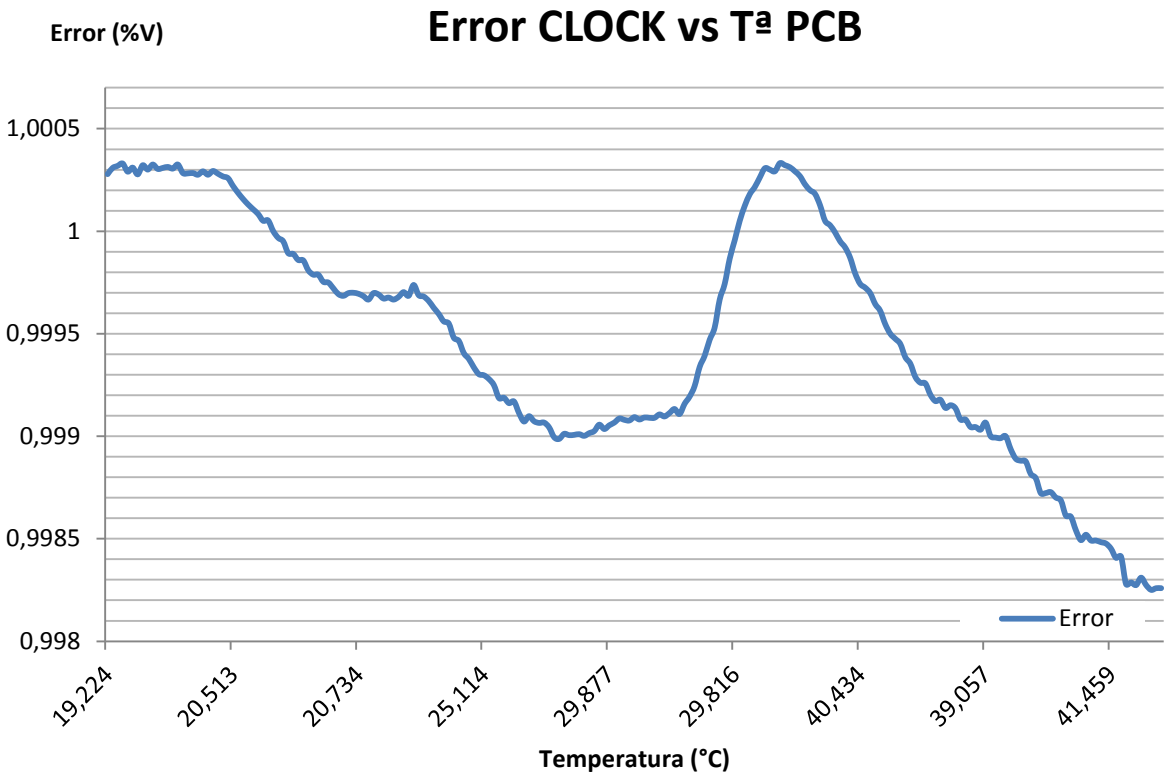
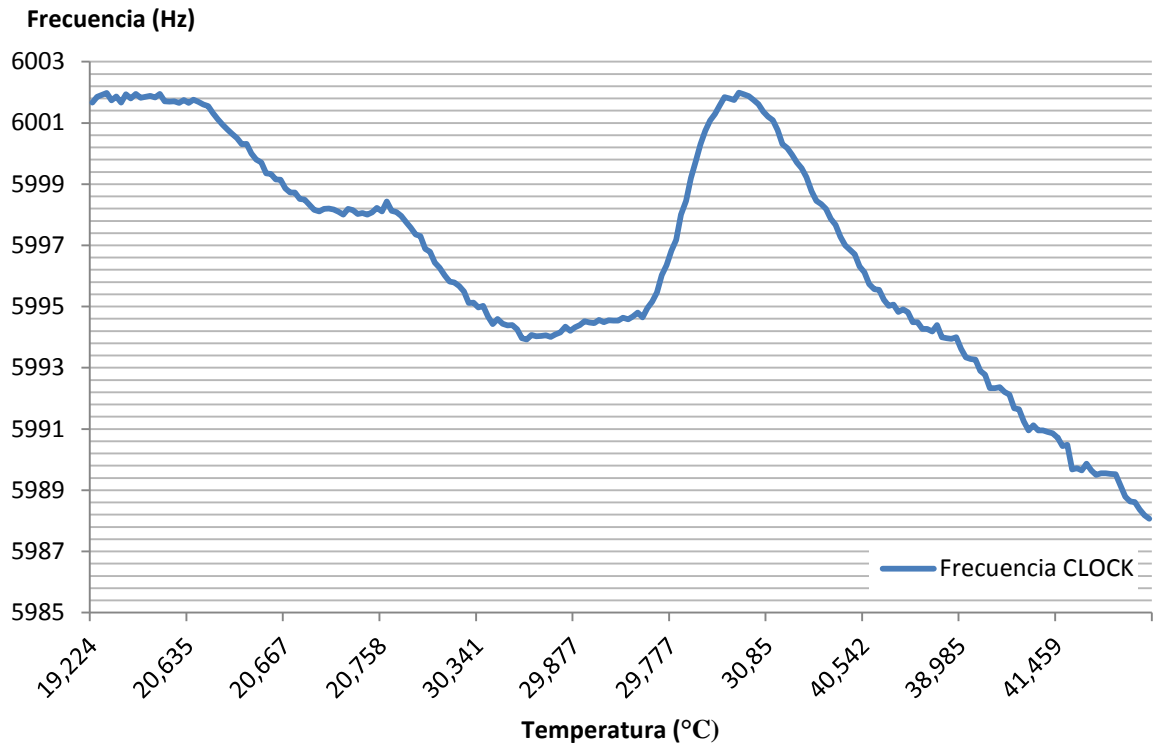






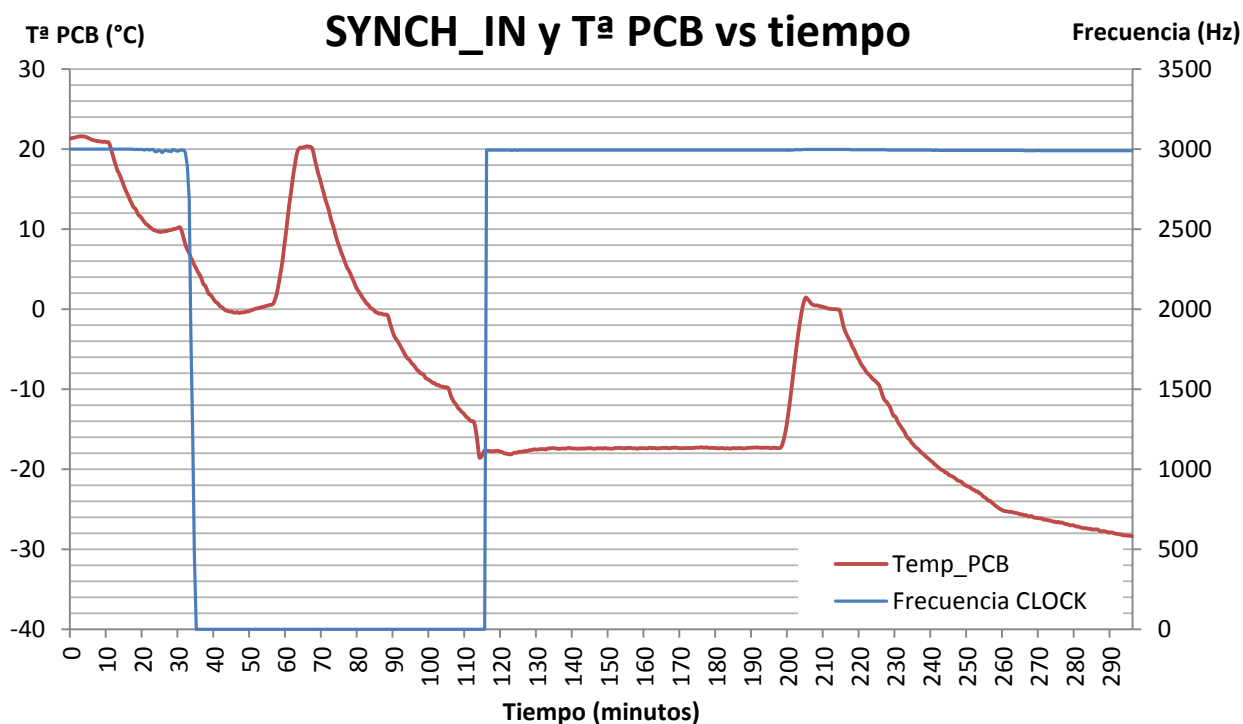
A continuación se muestra la evolución de la temperatura y la frecuencia de la señal CLOCK en el intervalo 0 -105 minutos, durante el cual no aparece fallo (recordar que cuando dicha falta aparece, se parchea retirando la conexión a registrador de CLOCK, por tanto durante ese intervalo la medida no es correcta):



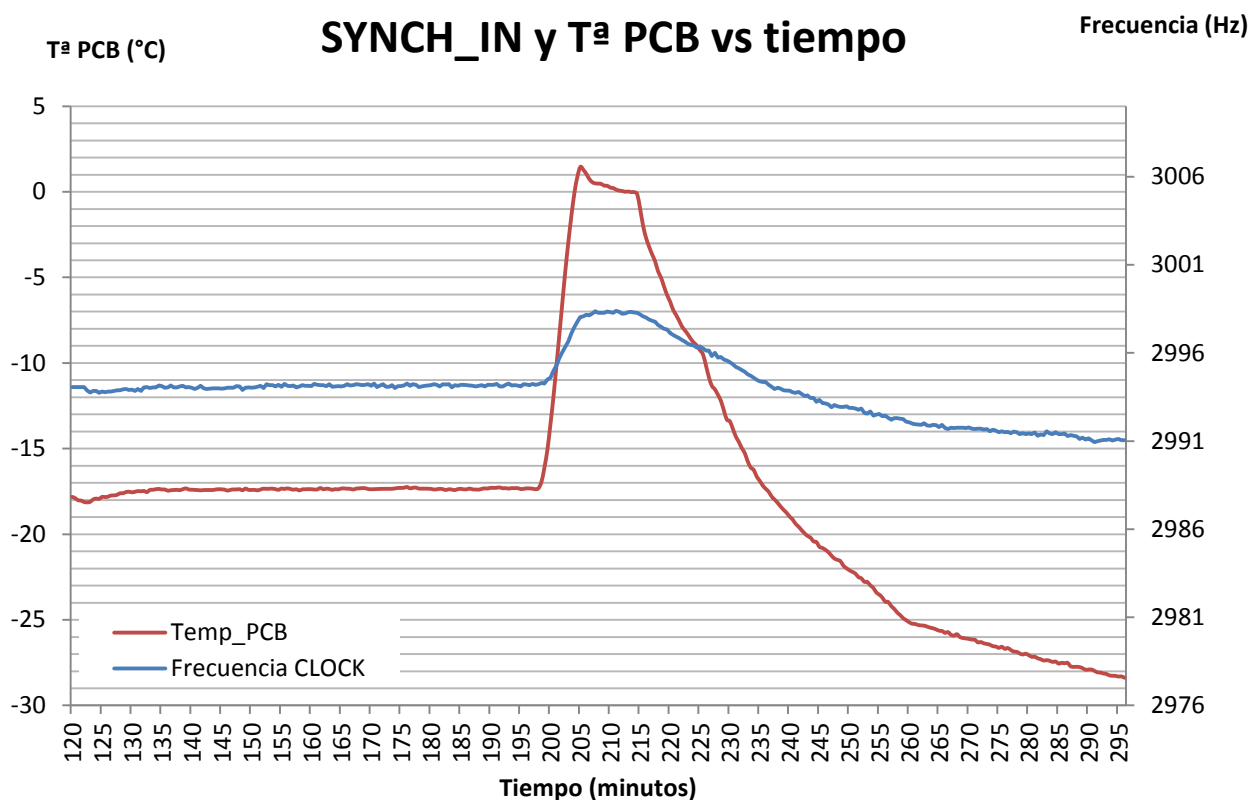


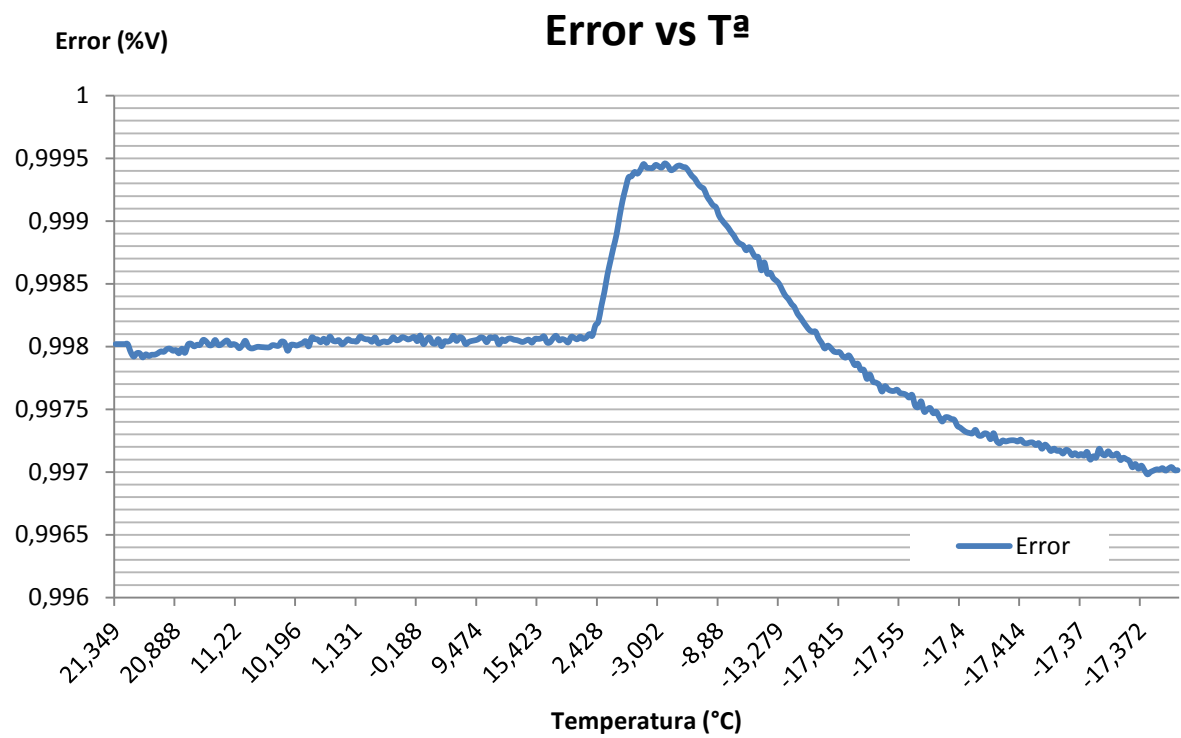
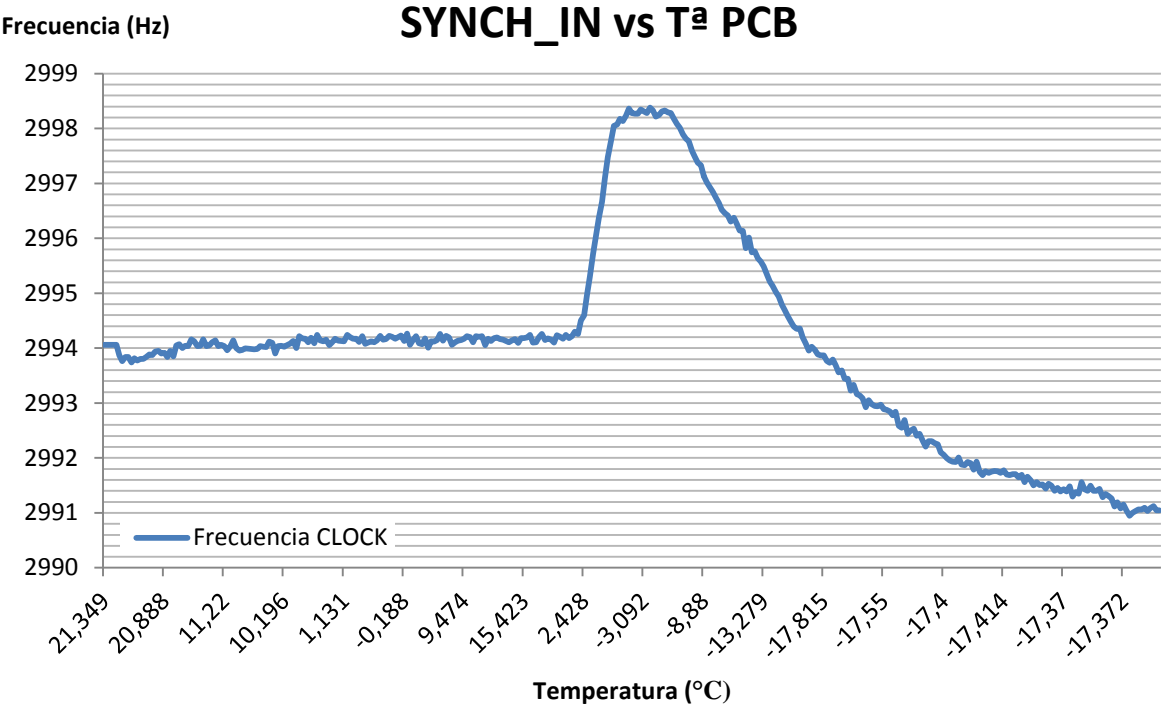
Se incluye a continuación una gráfica que muestra con detalle el comportamiento desde el minuto 120 hasta el final de ensayo, momento en el cual se recupera el fallo al desconectar la entrada al multiplexor y se

vuelve a tener la medida de SYNCH_IN. En el apartado siguiente se analizarán los fallos con detalle



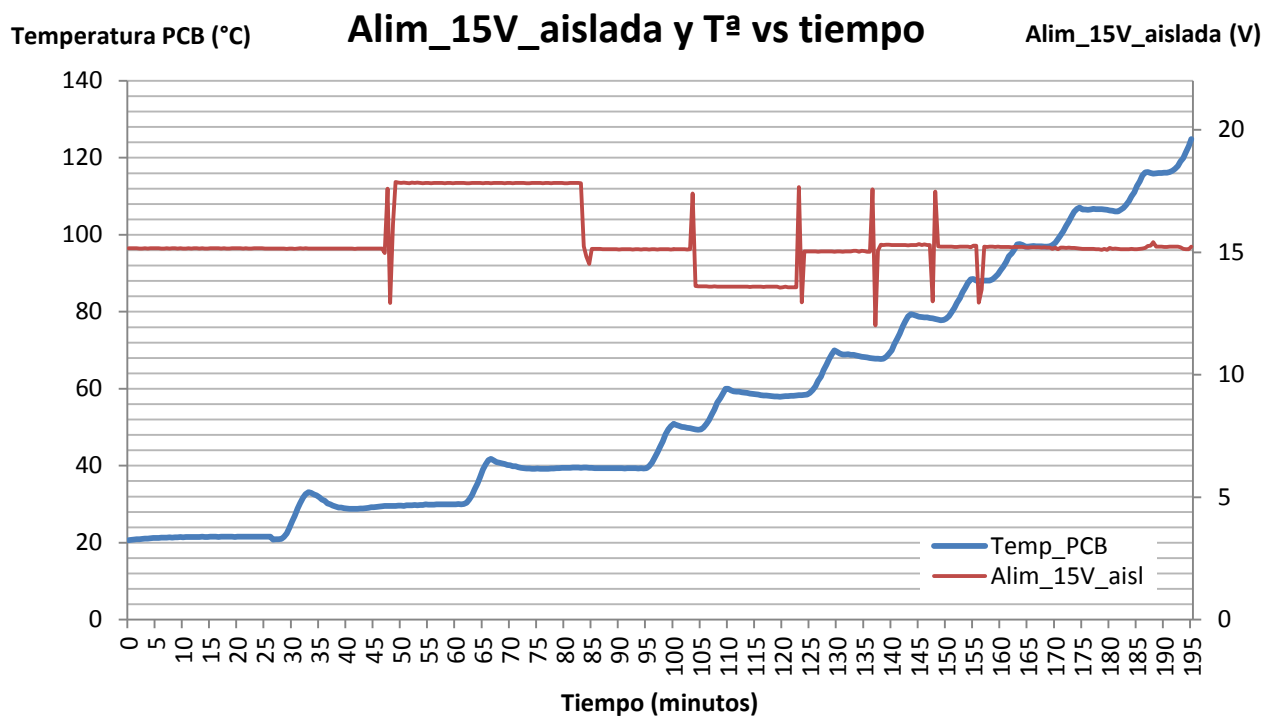
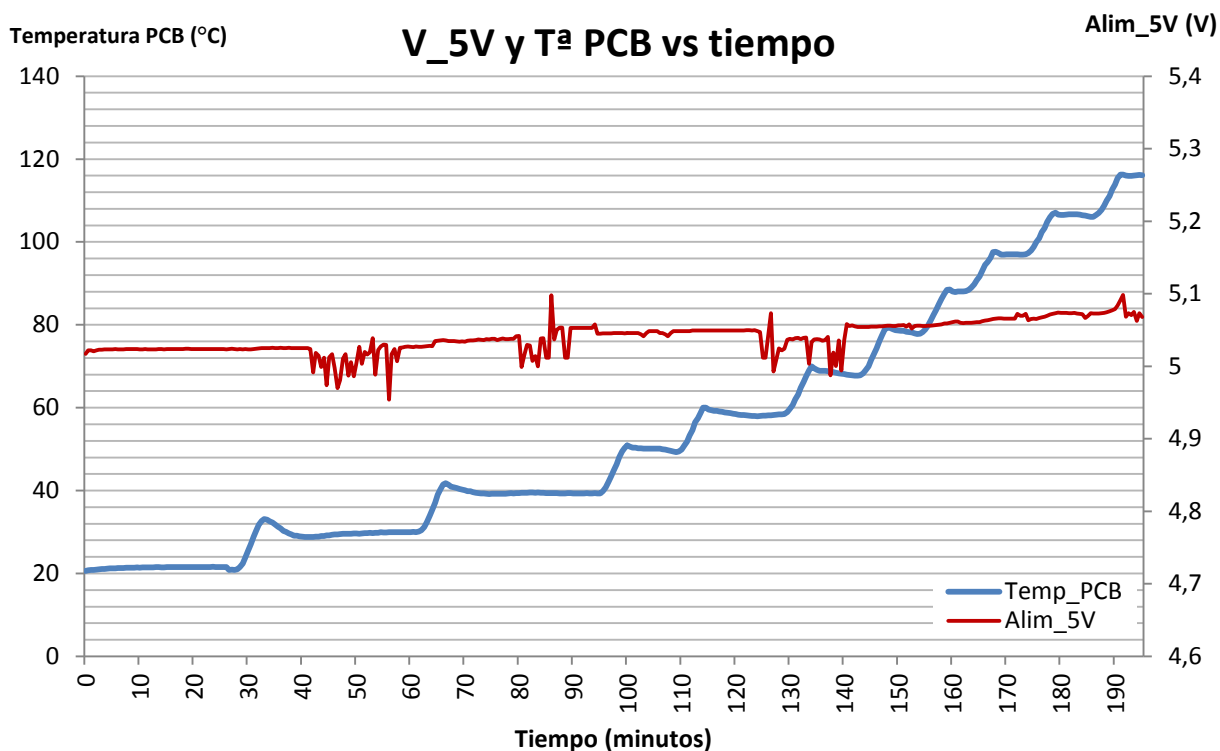
Se muestra la evolución de SYNCH_IN con la temperatura a partir del minuto 120, momento en el cual se ha parcheado el fallo y se mide correctamente:

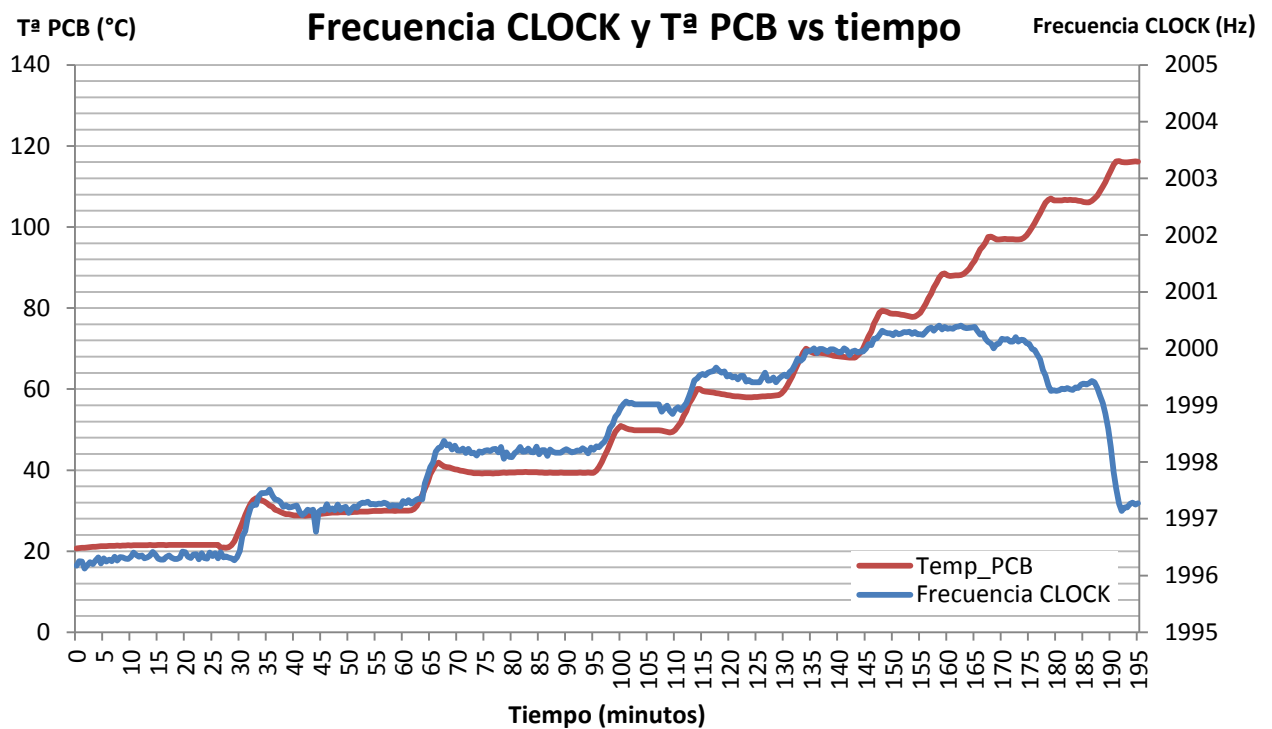
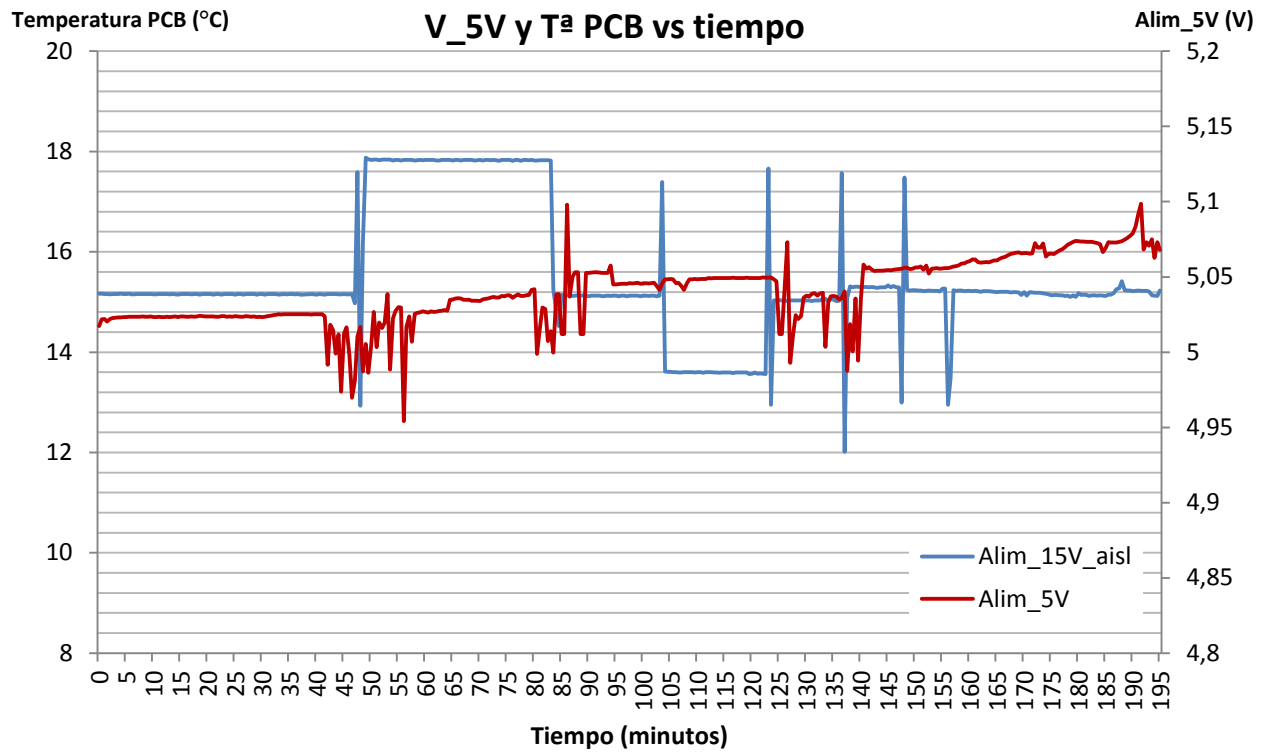


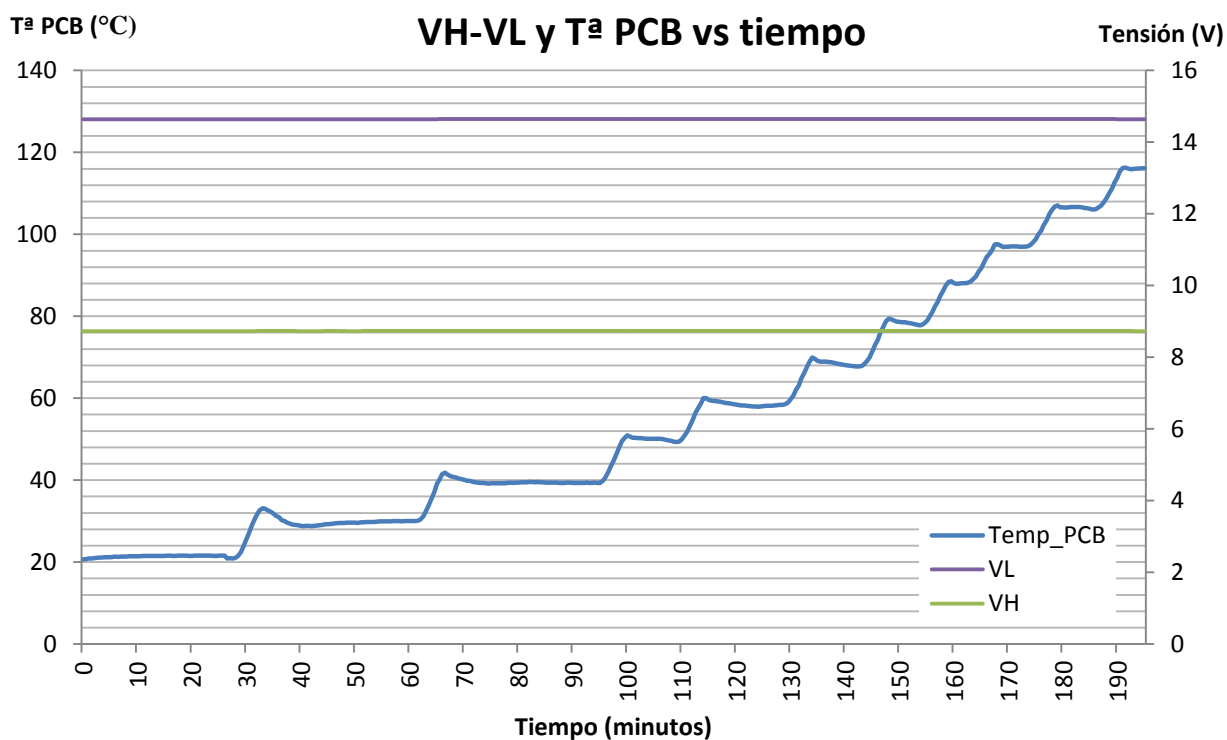
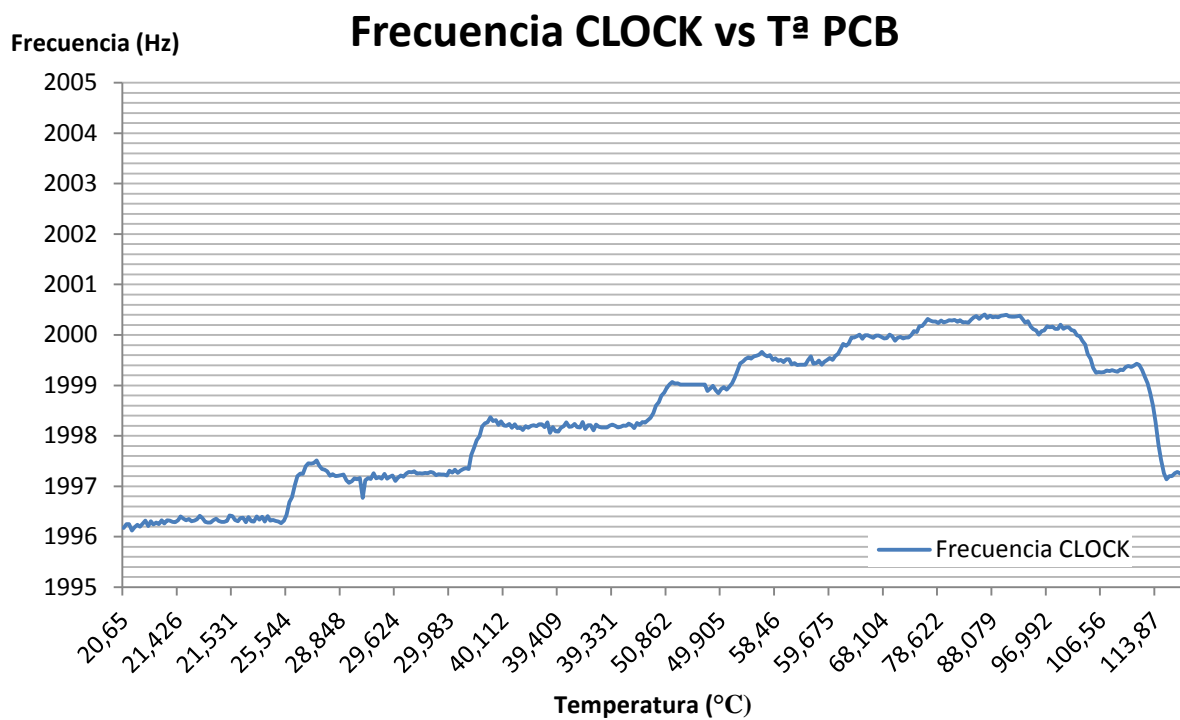


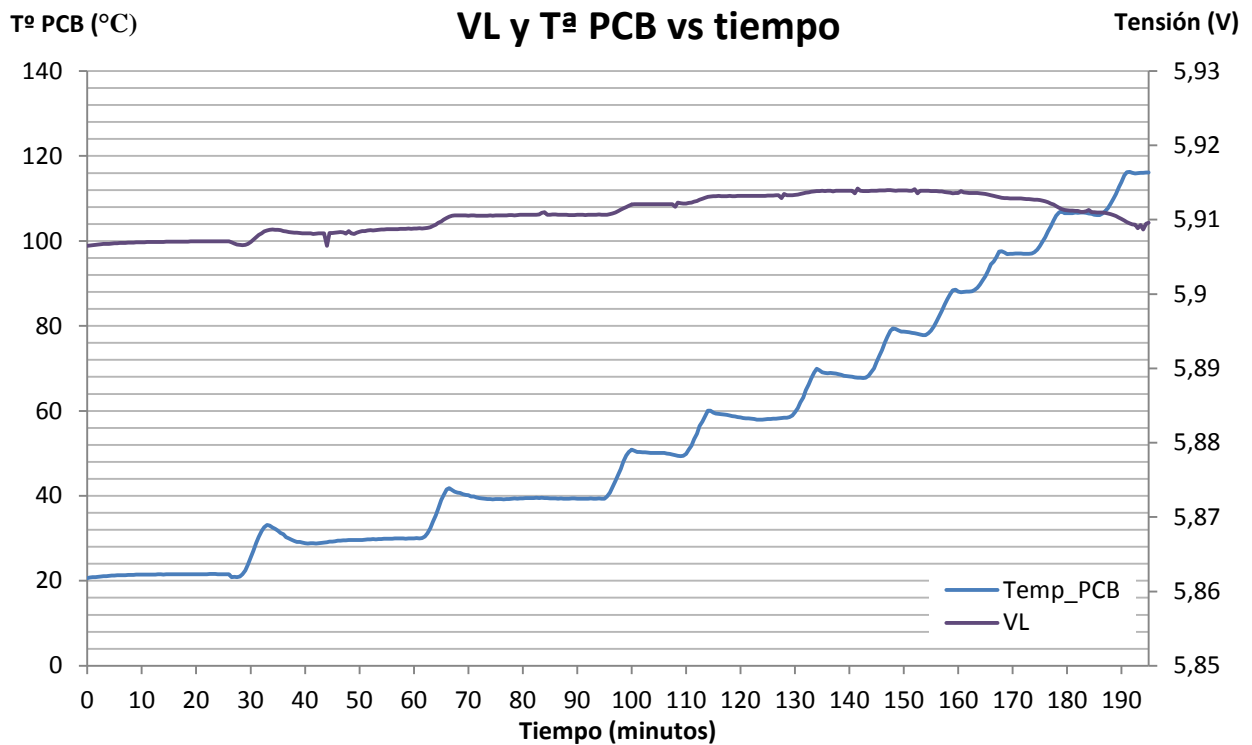
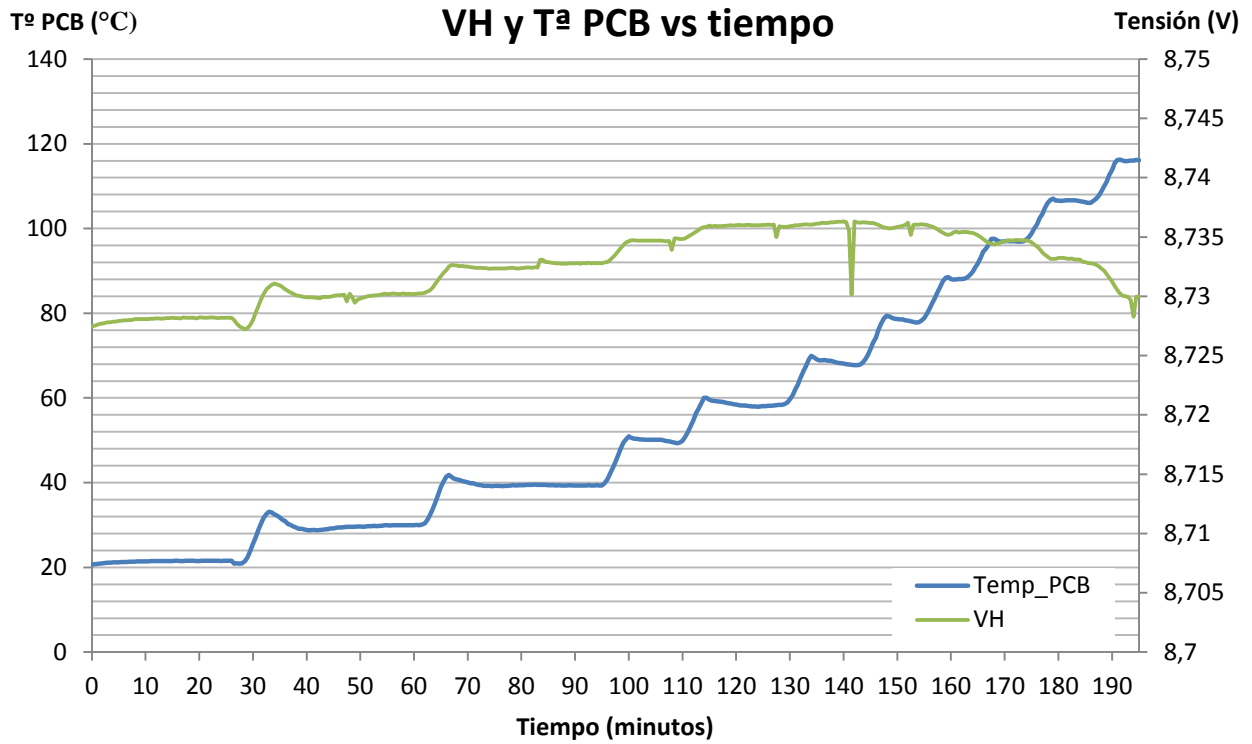
2 Monitorización ventiladores

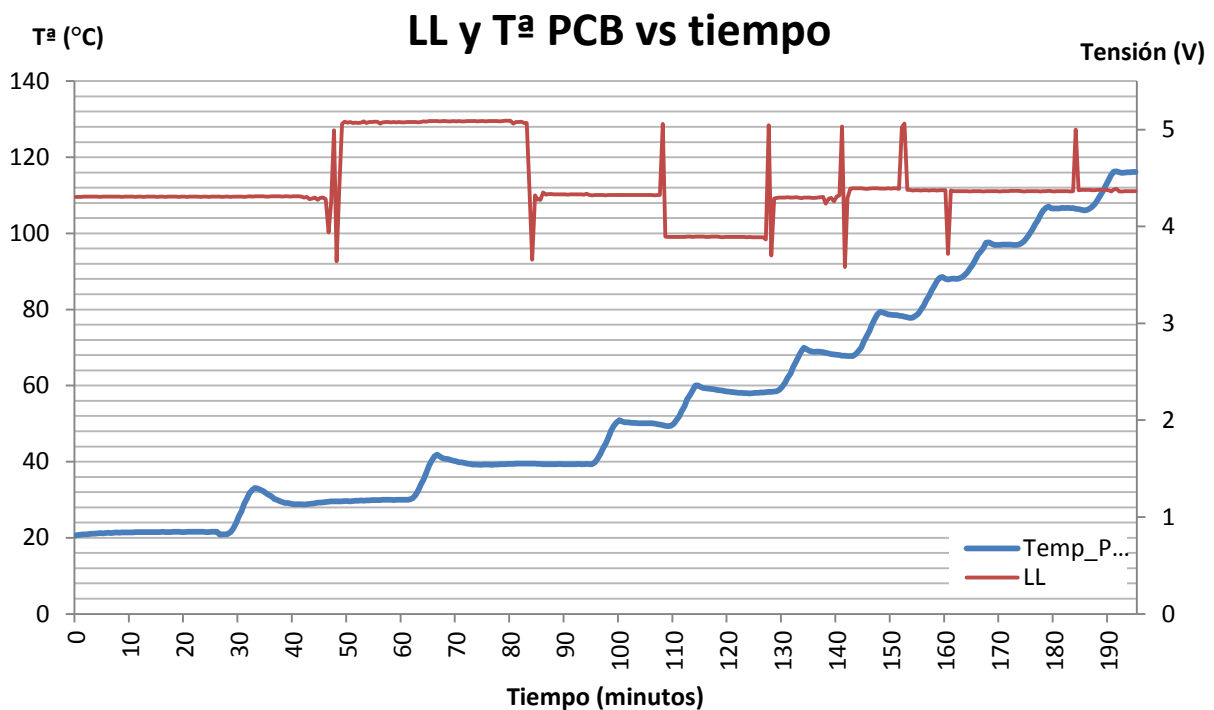
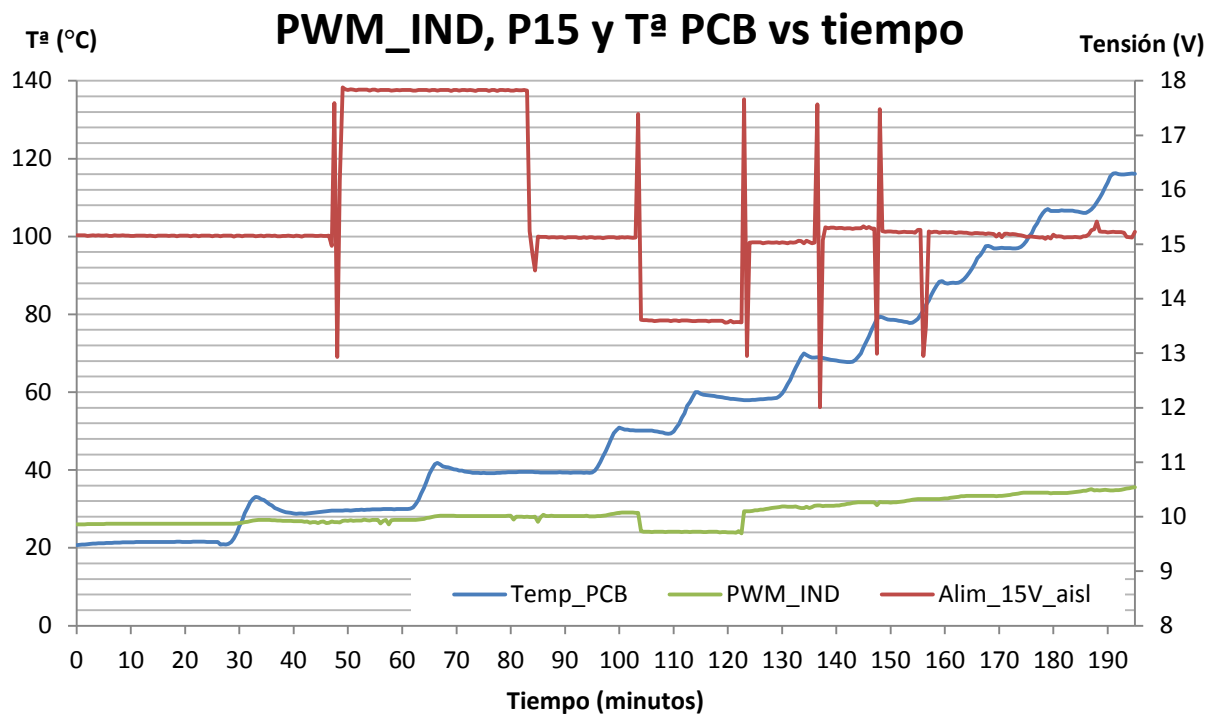
2.1 HSS

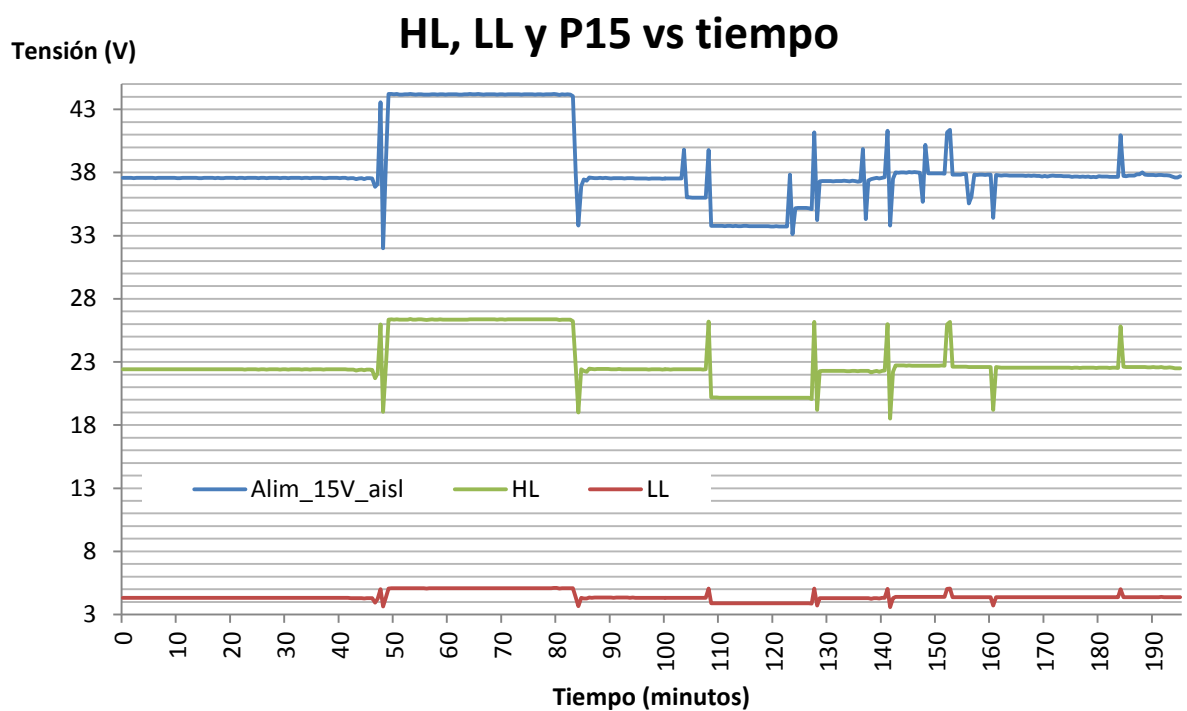
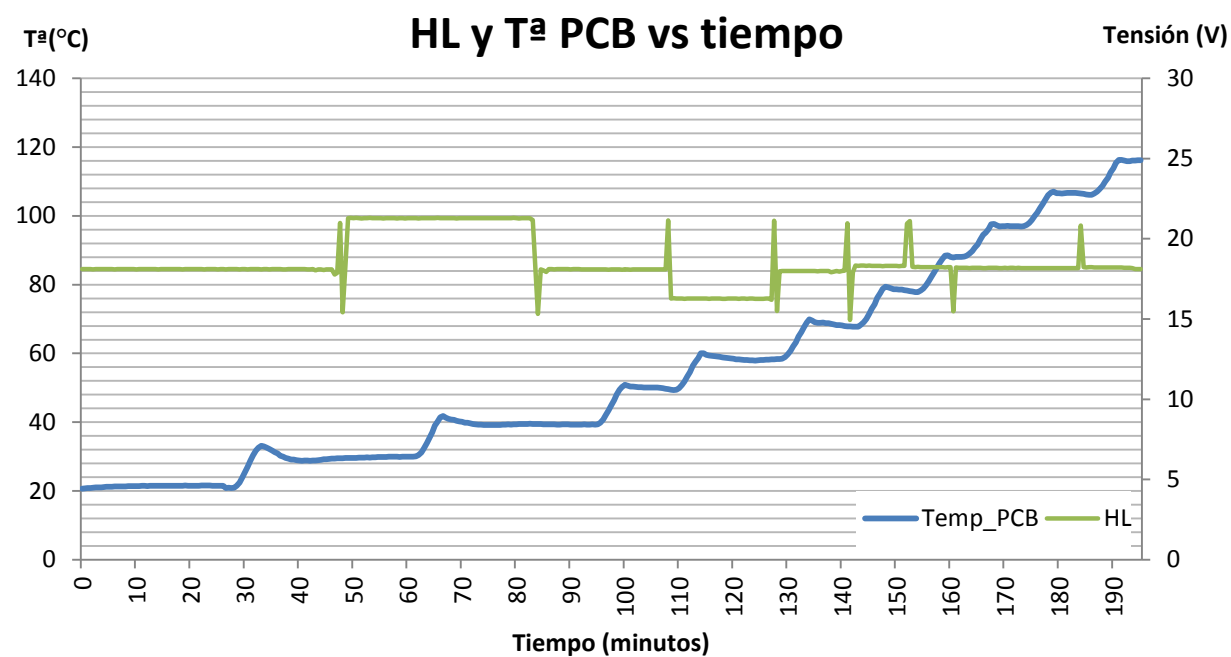


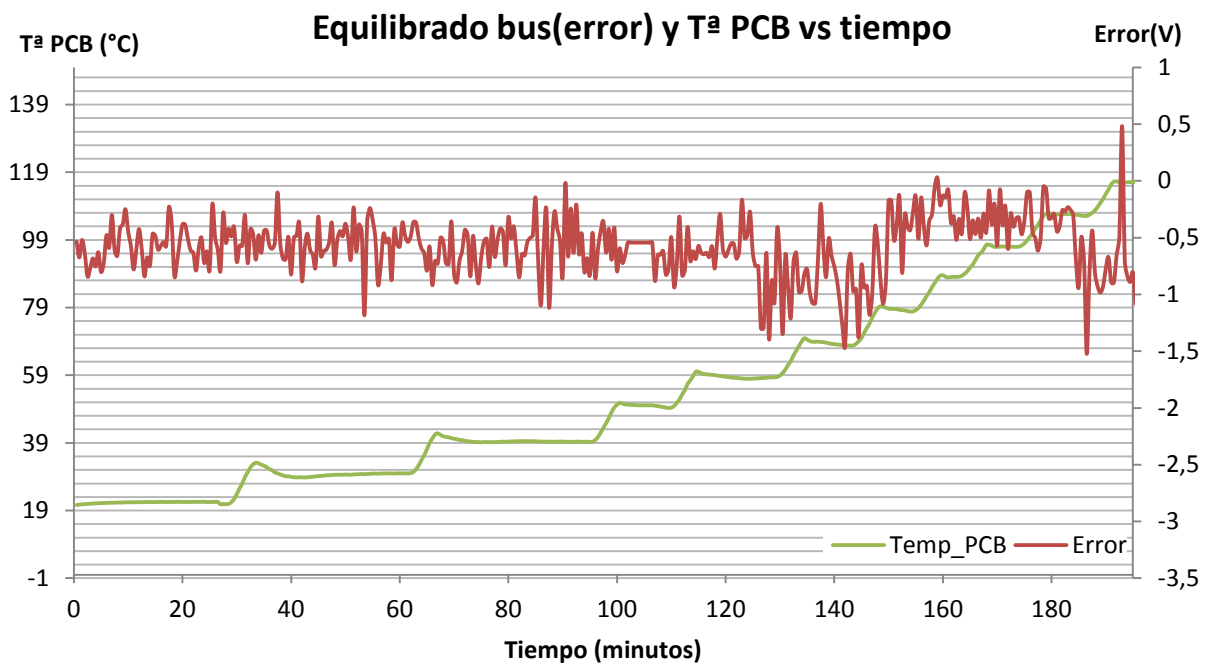
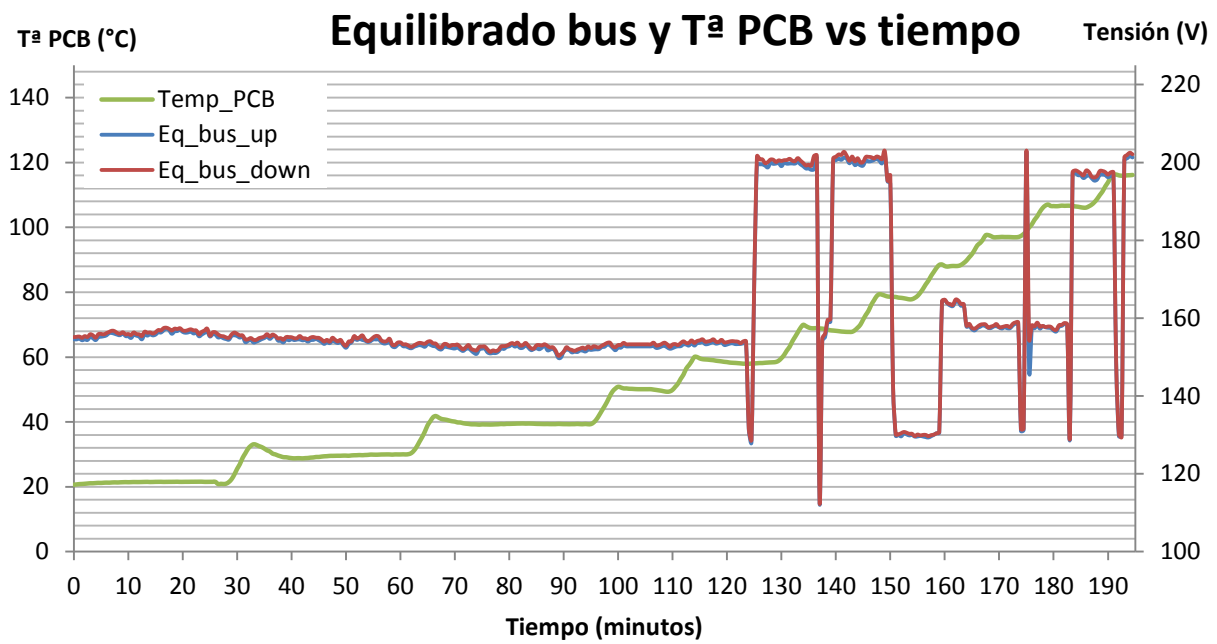




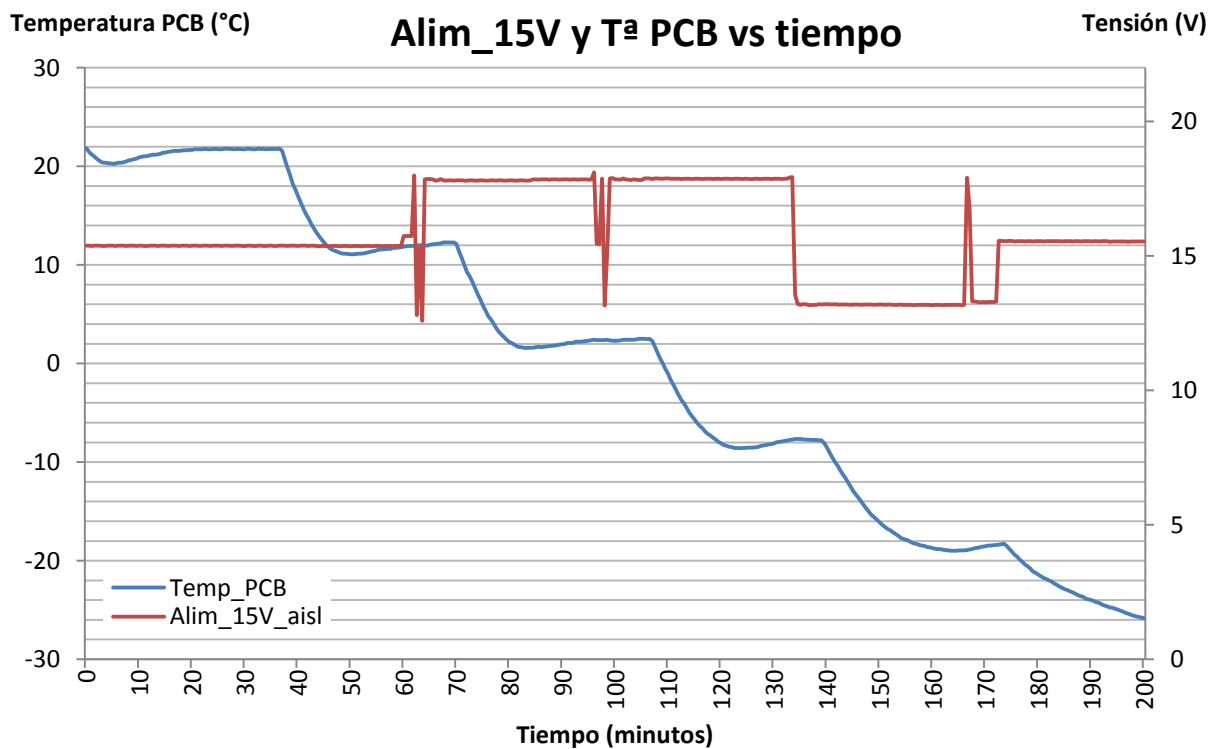
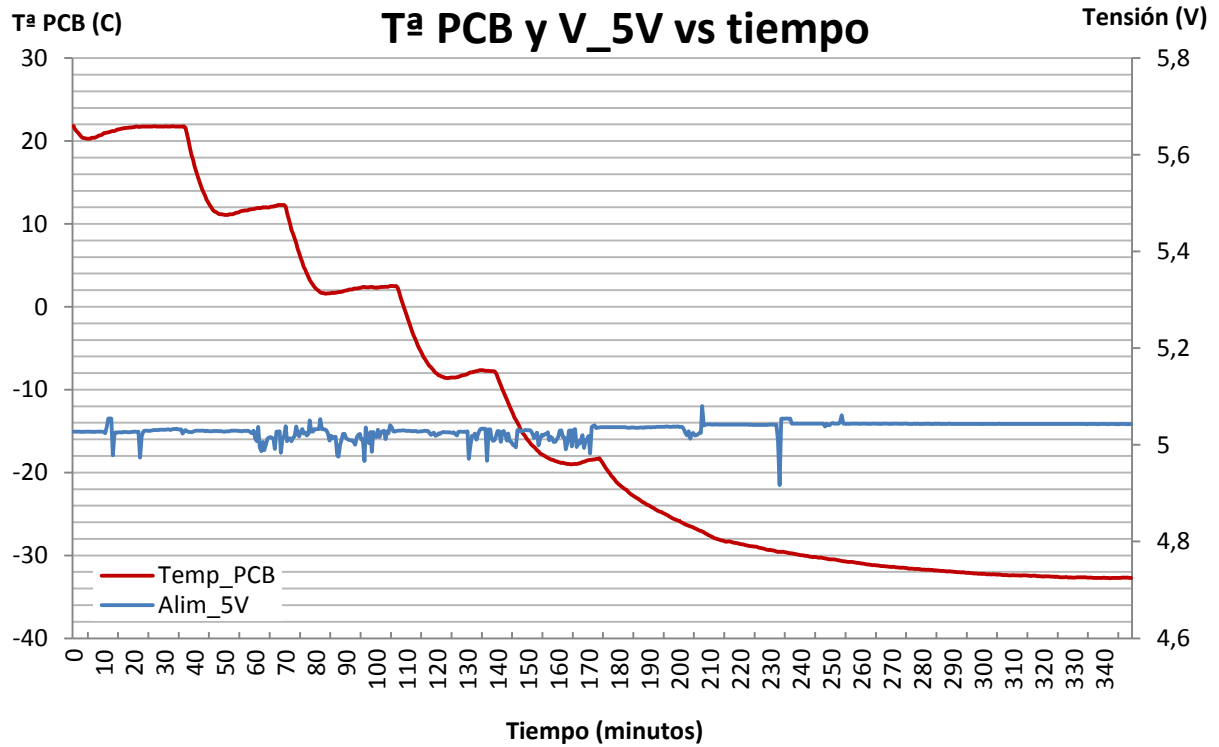


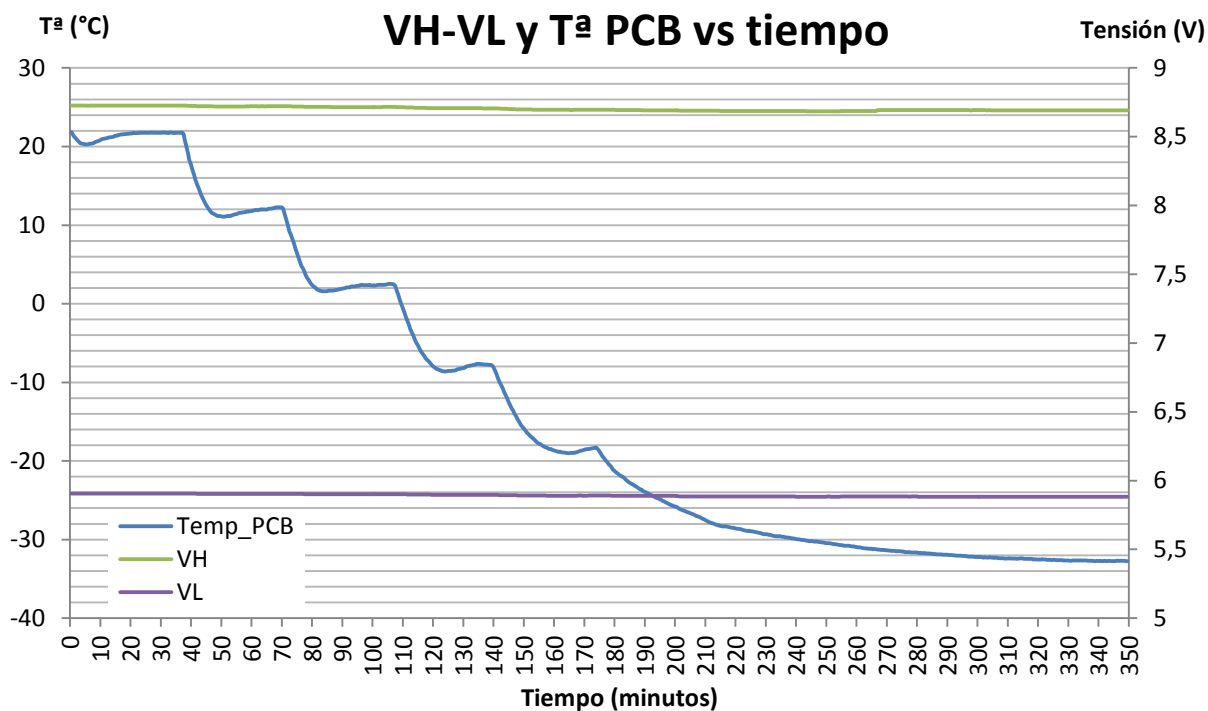
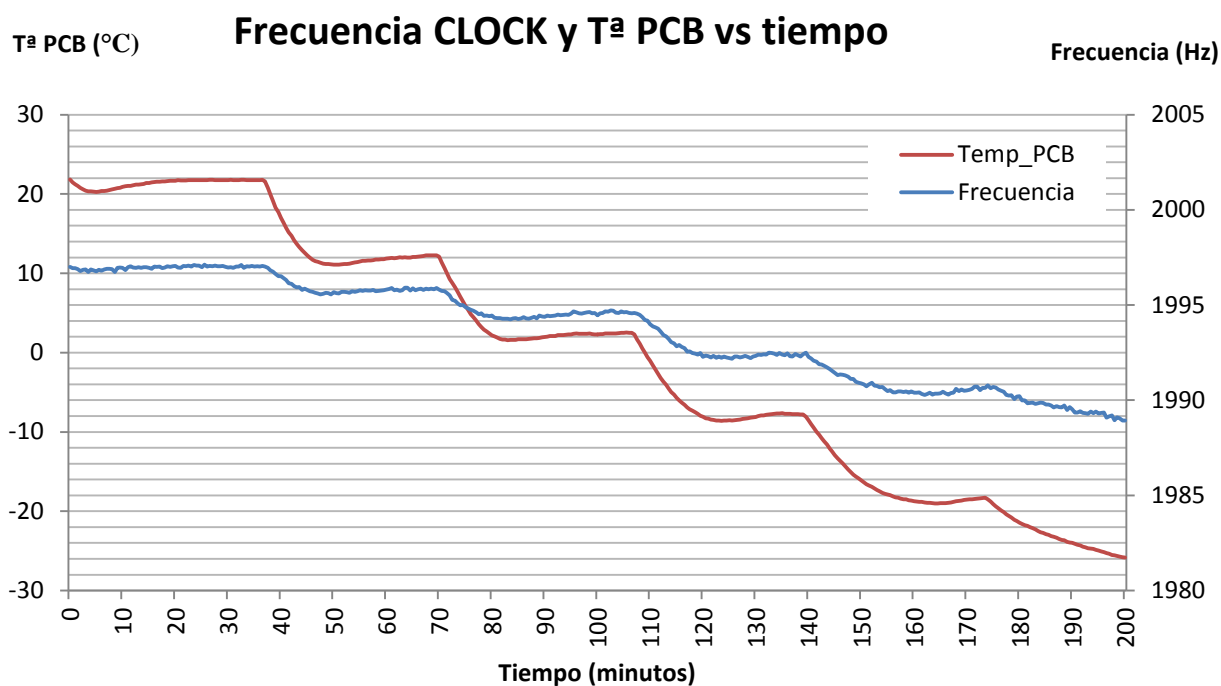


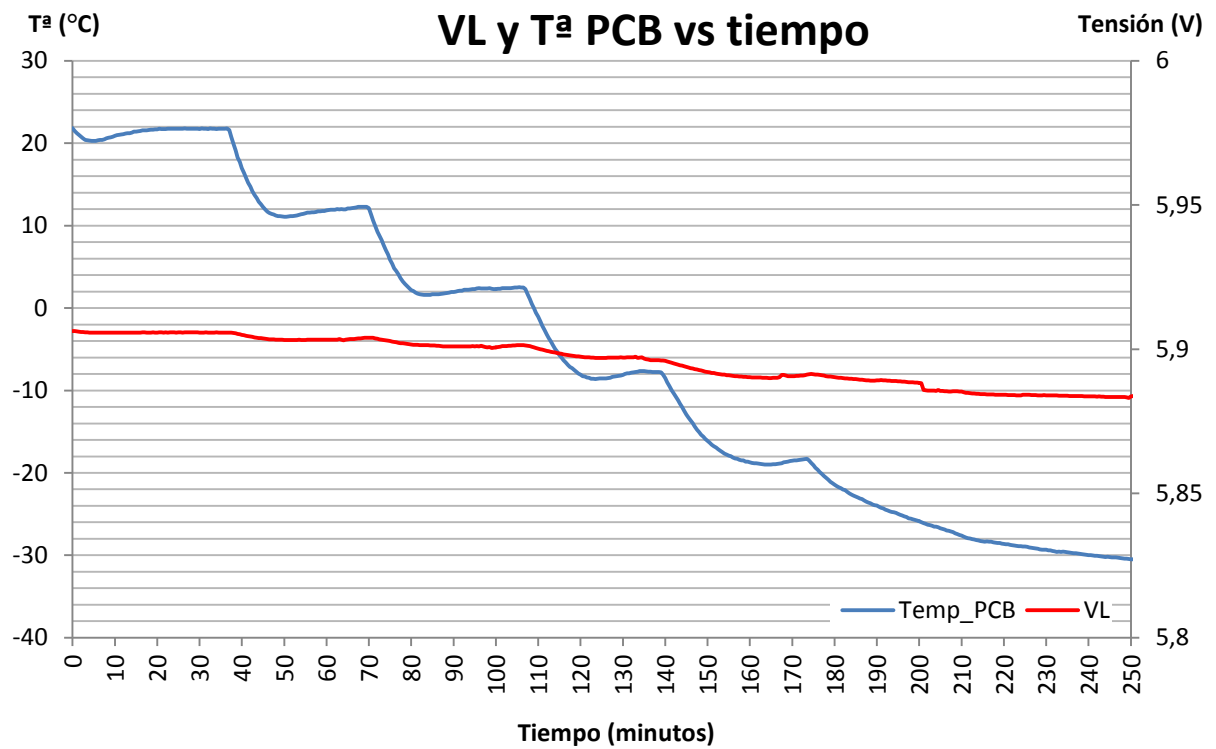
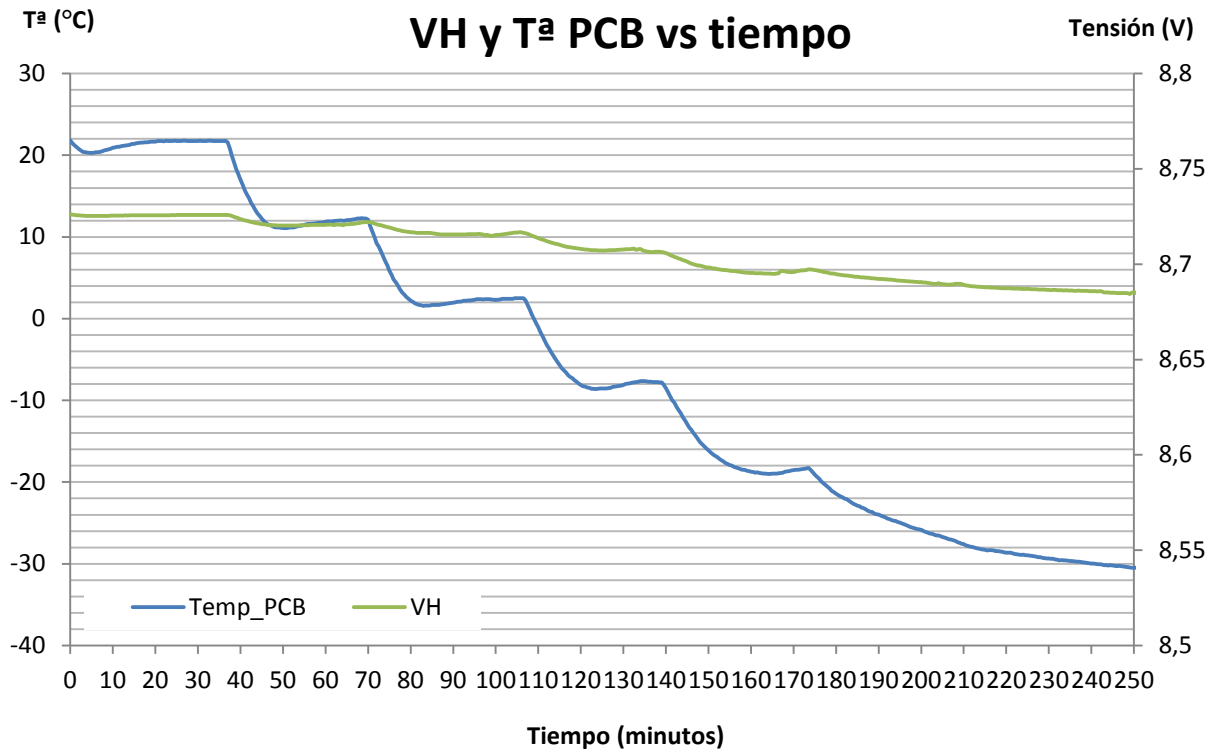


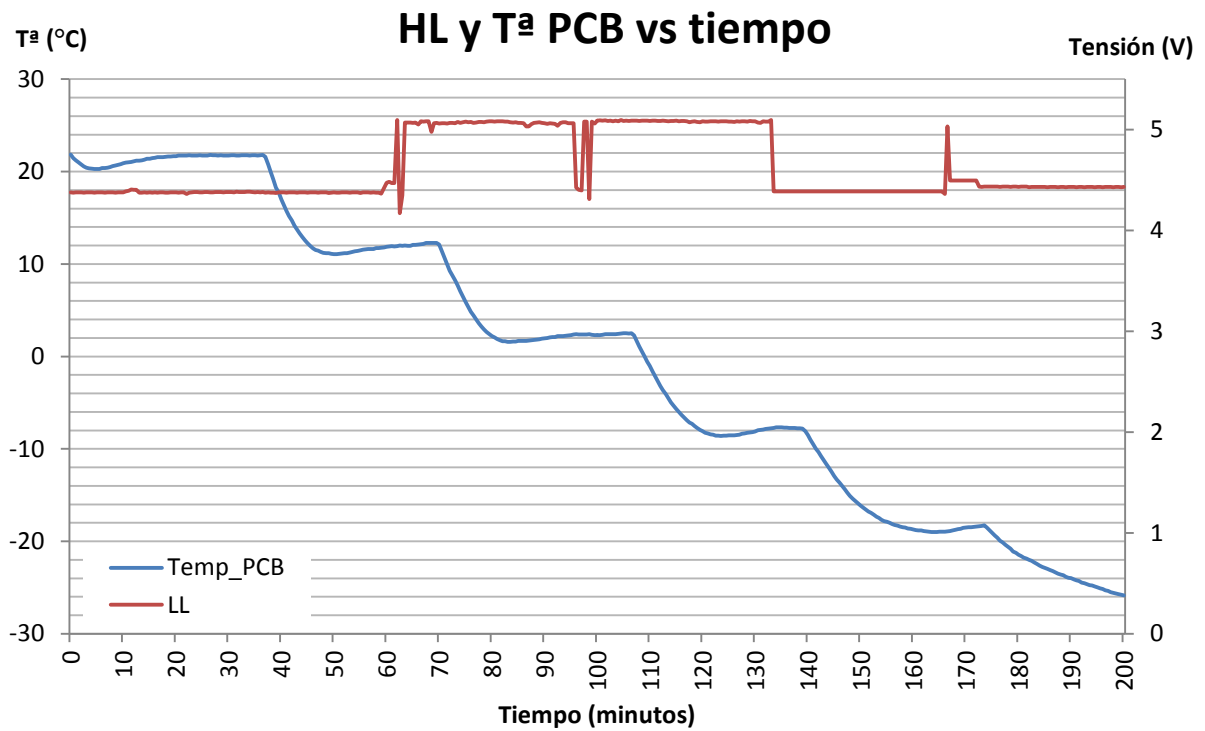
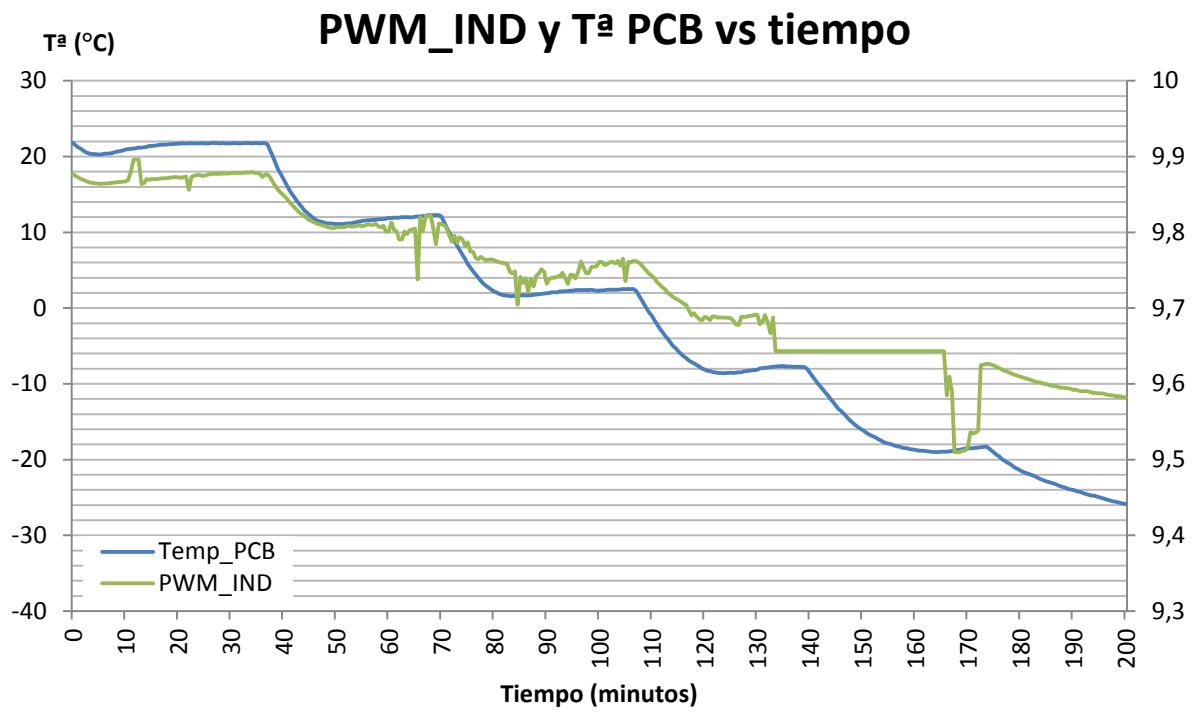


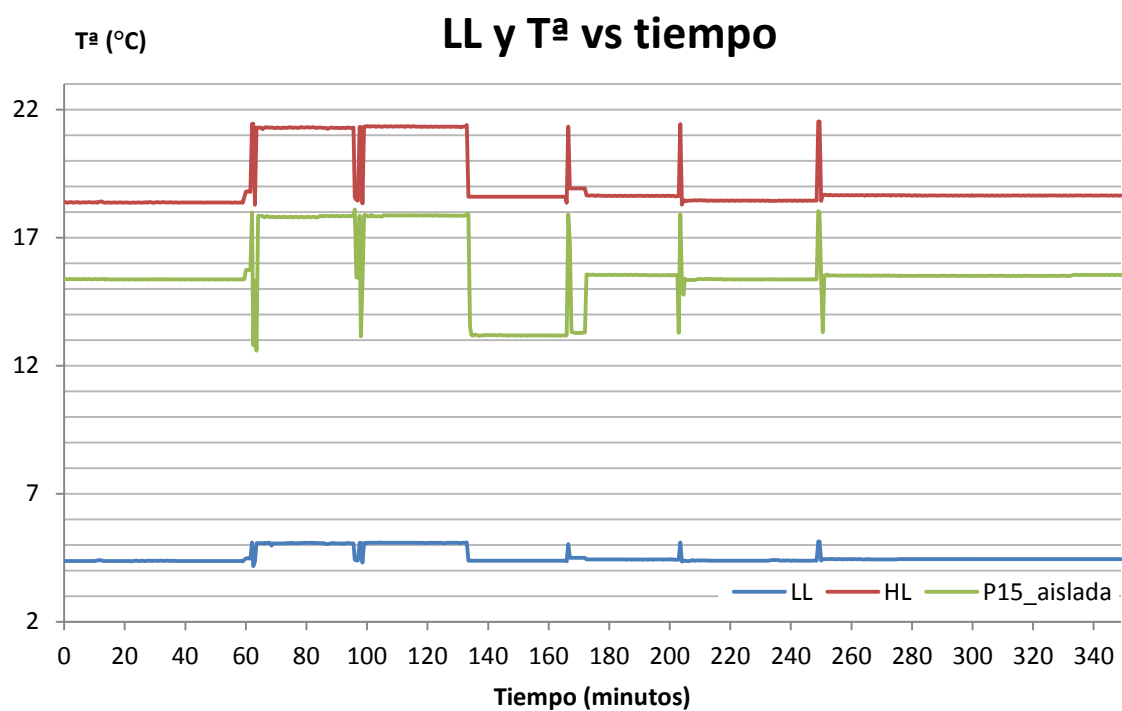
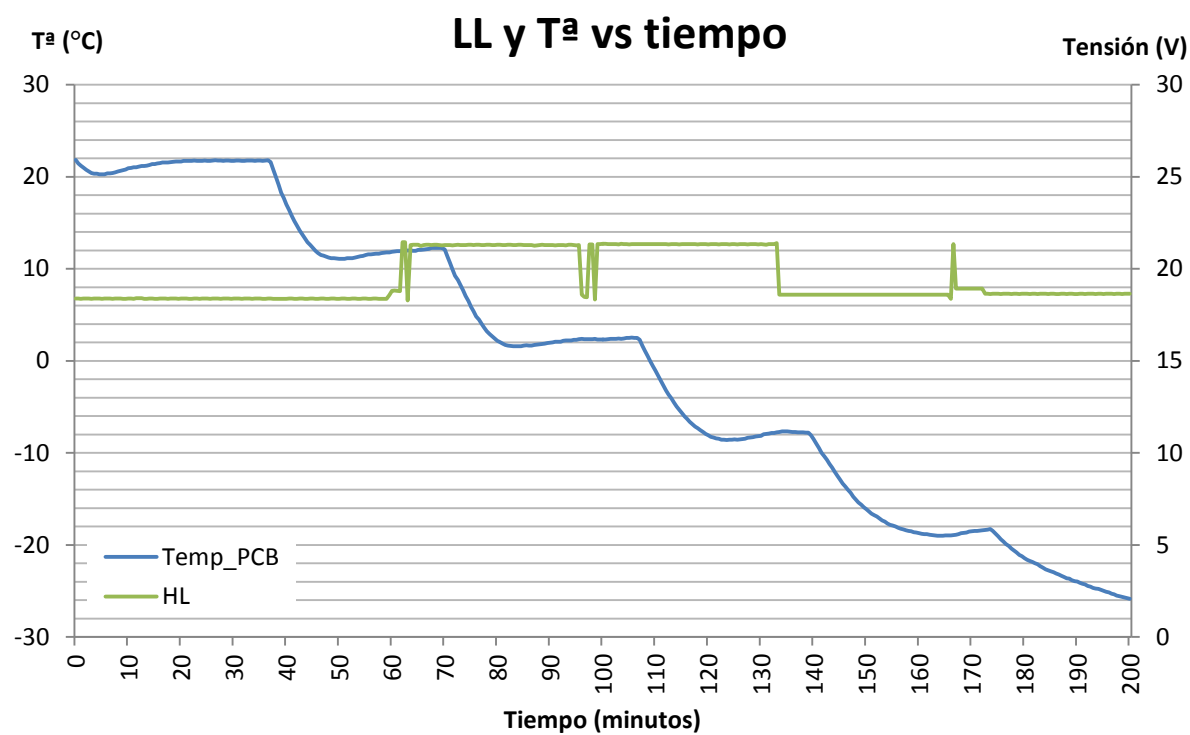
2.2 CSS

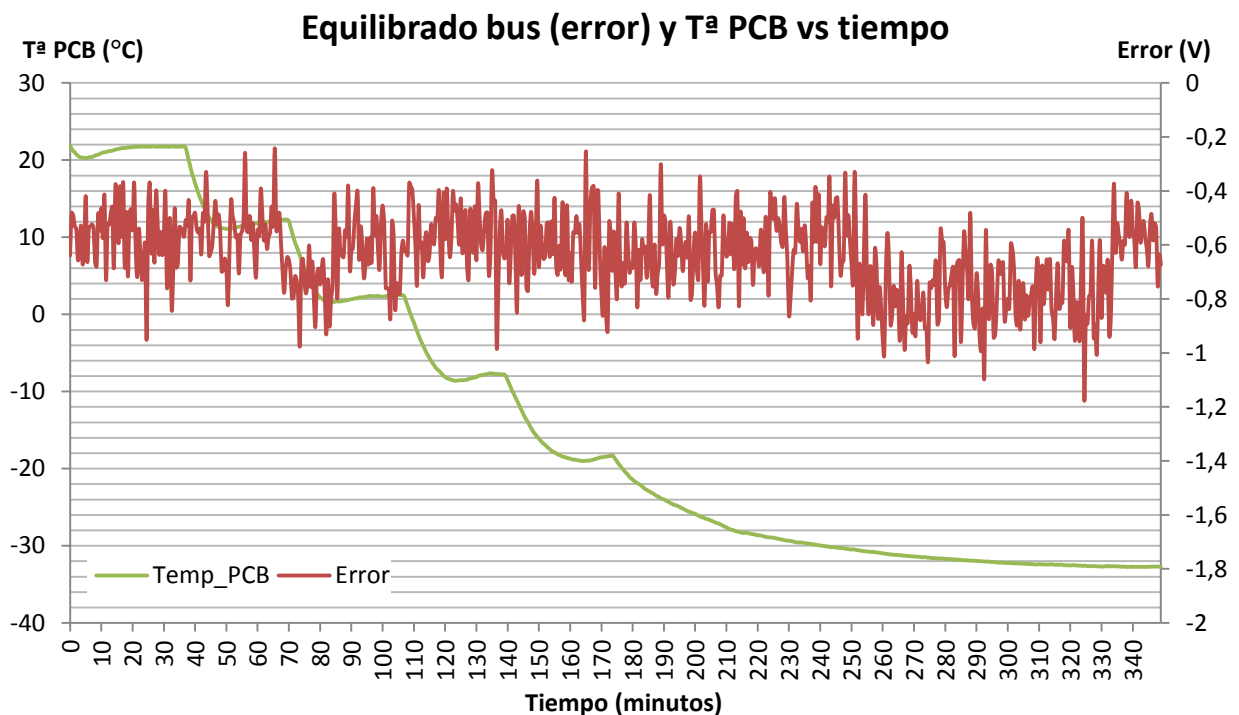
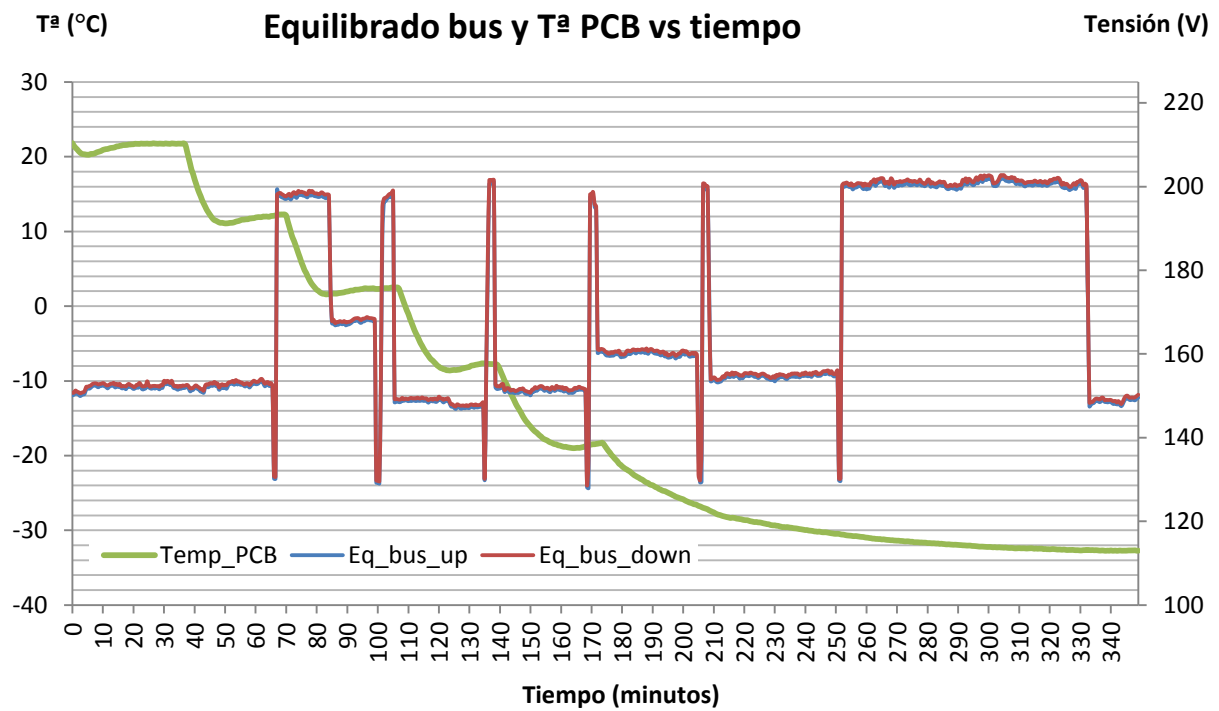






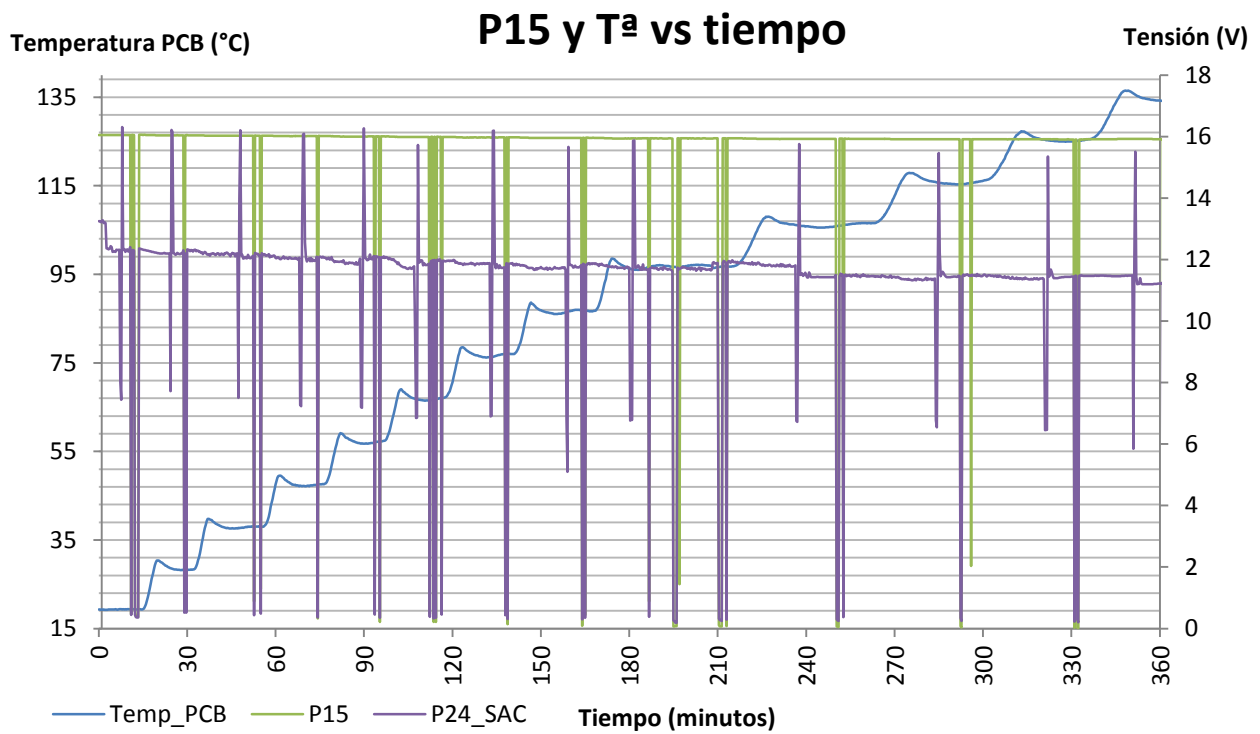
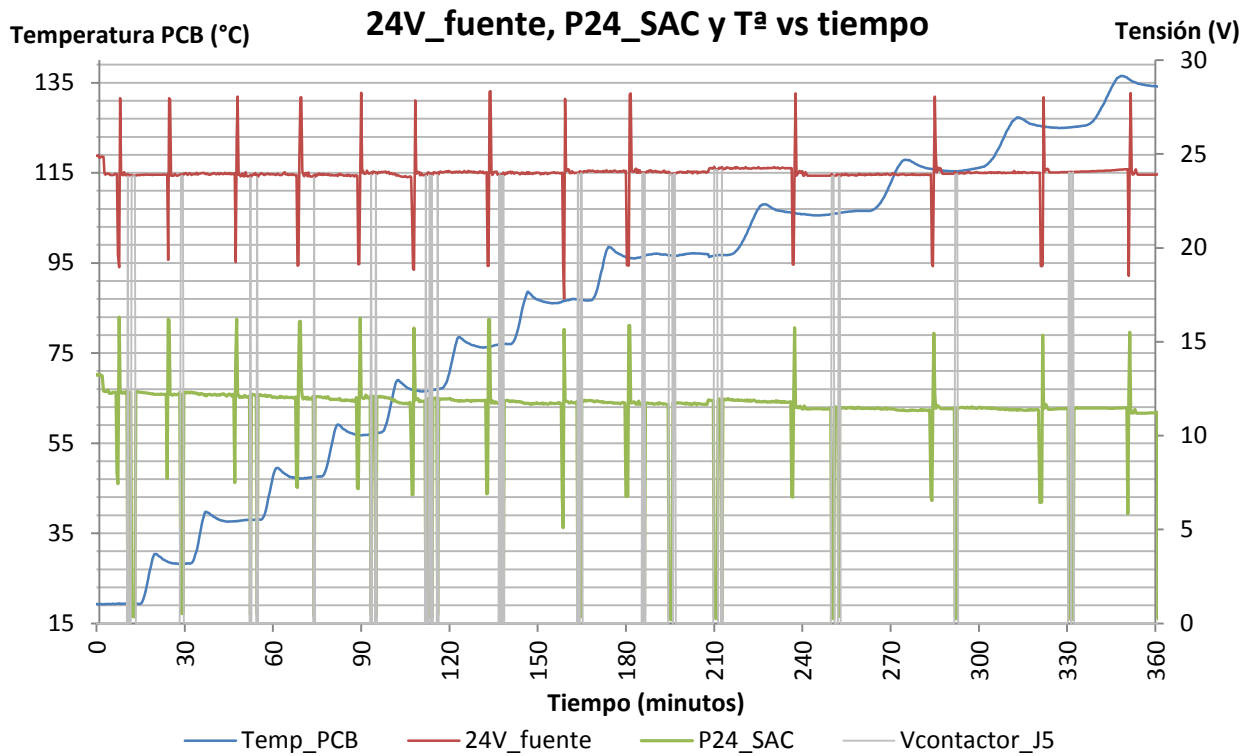


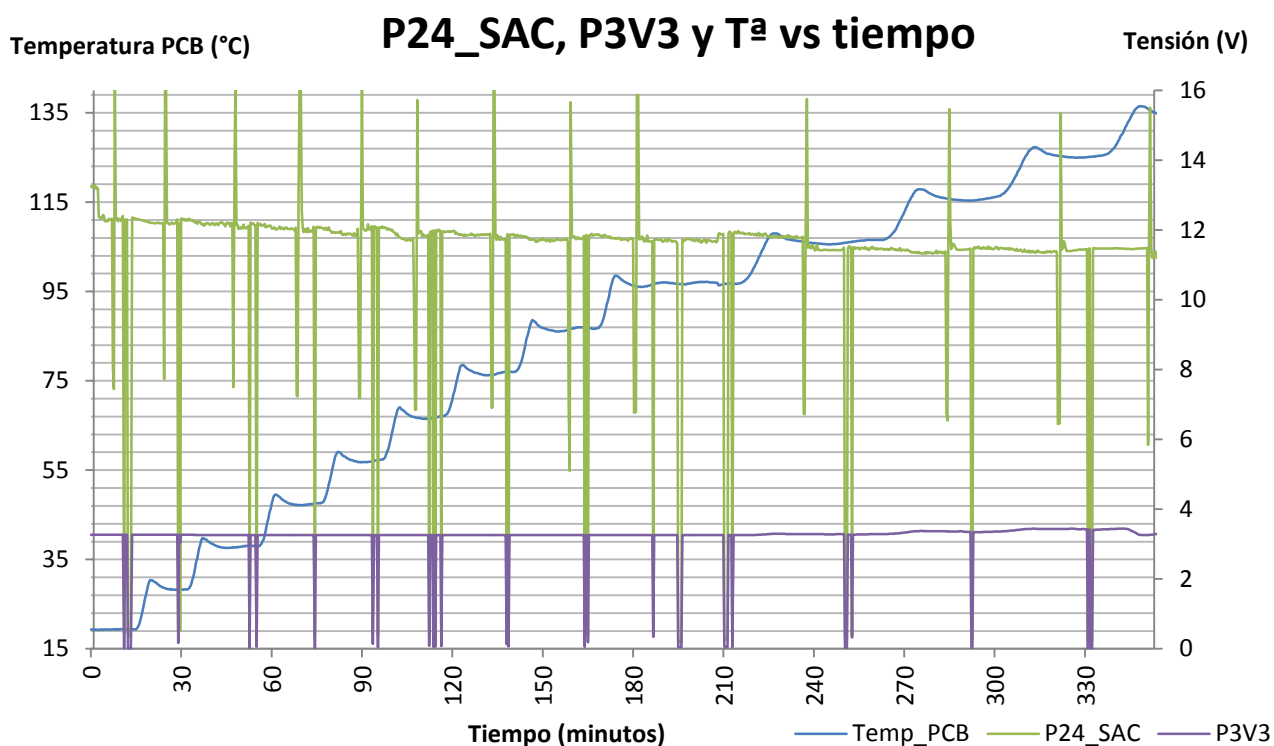
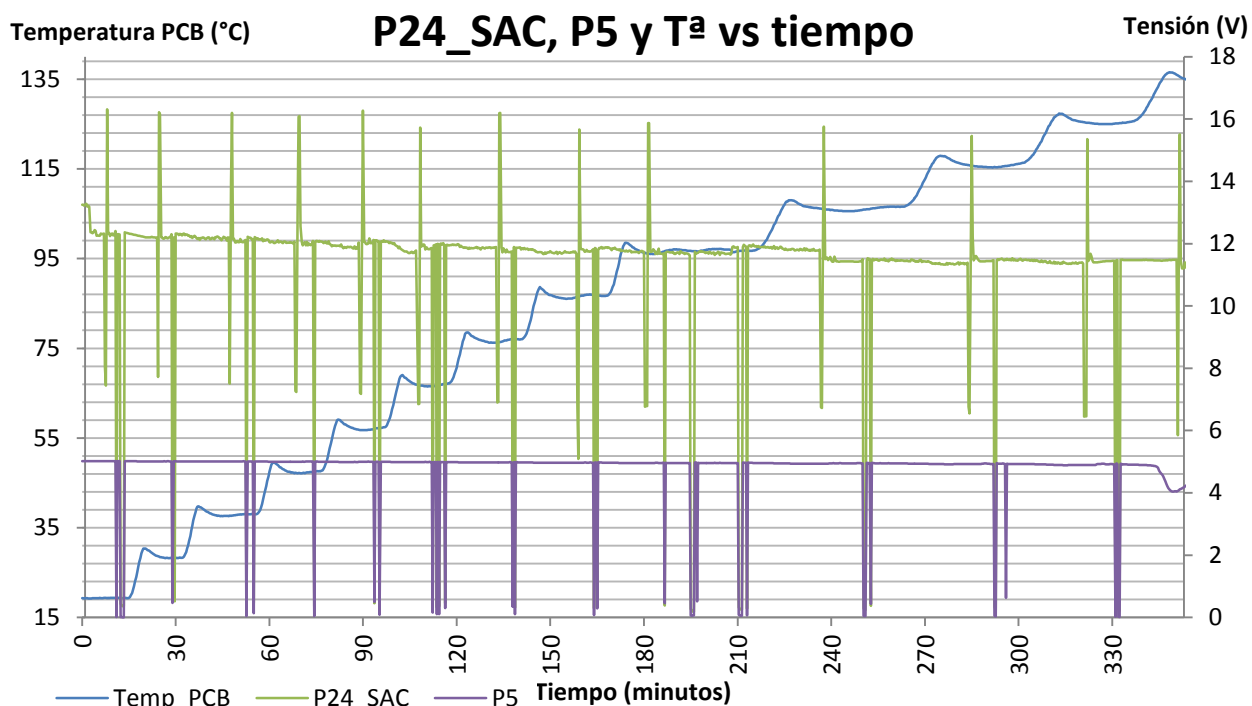


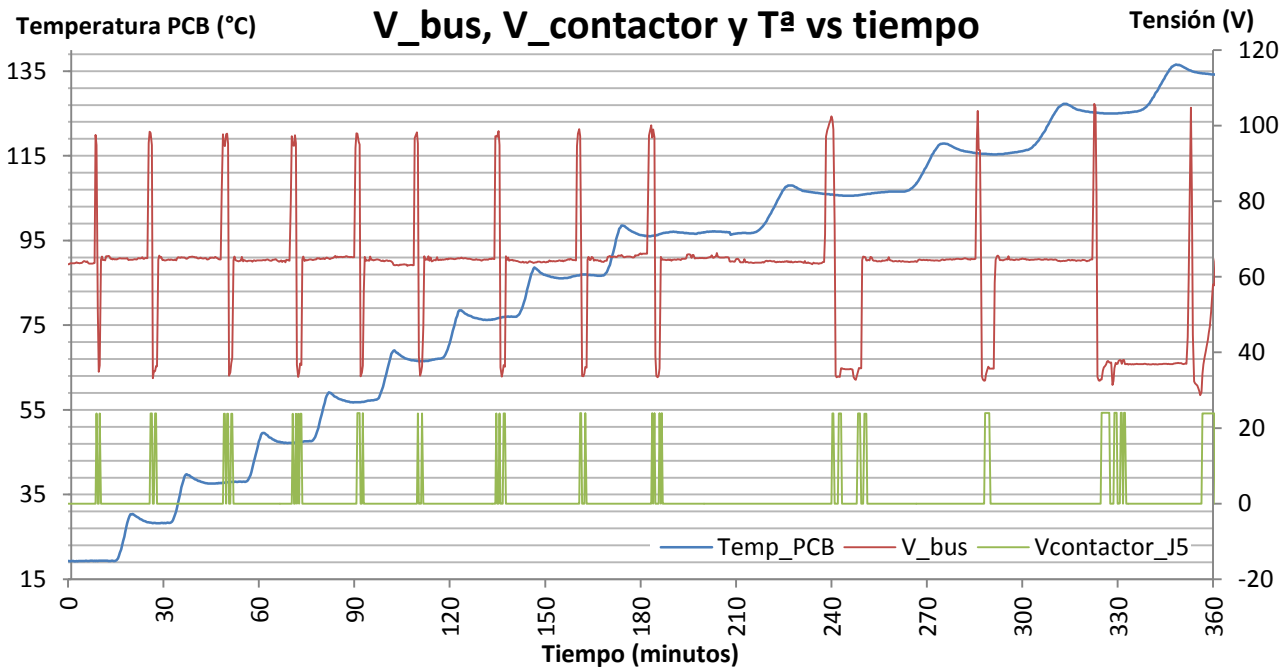
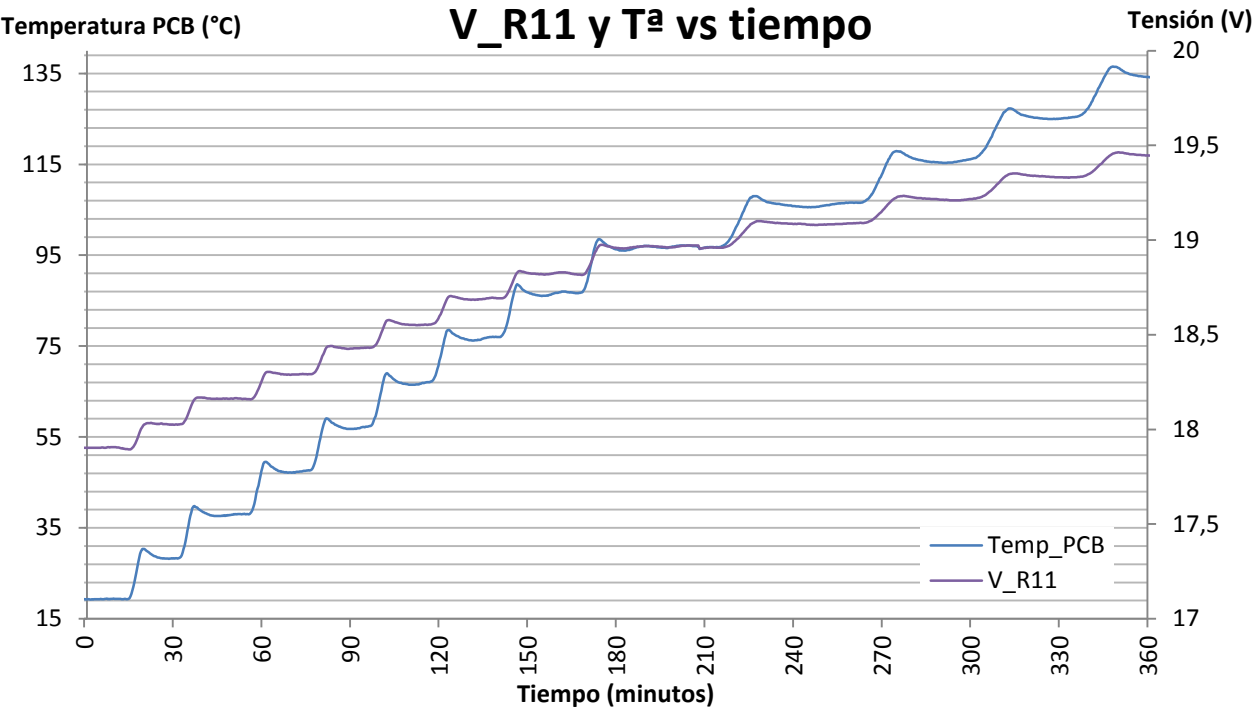


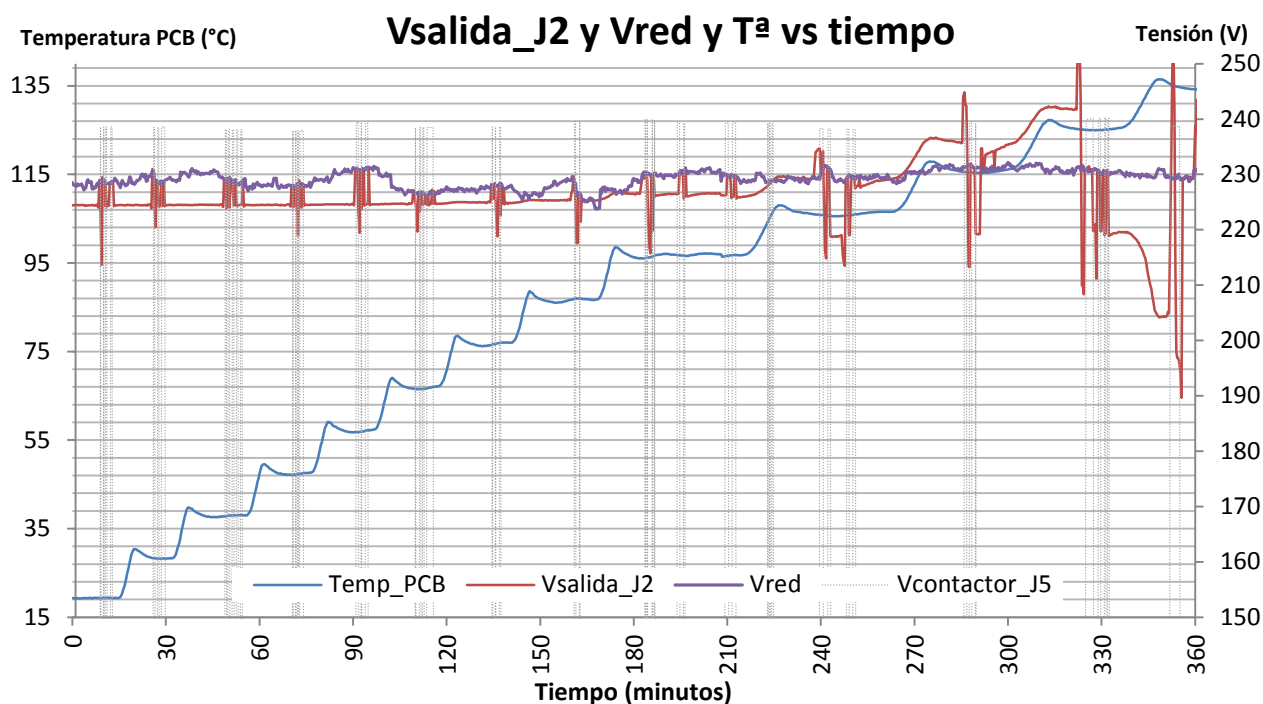
3 CSS PCB

3.1 HSS

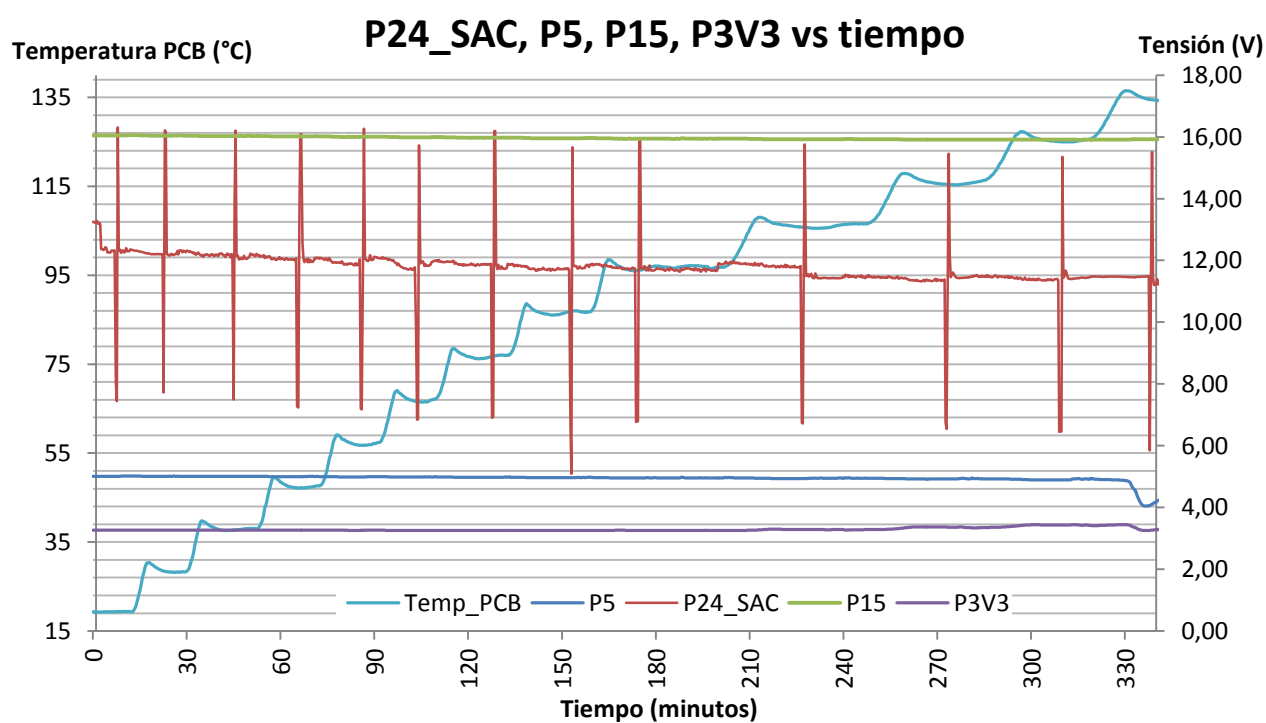


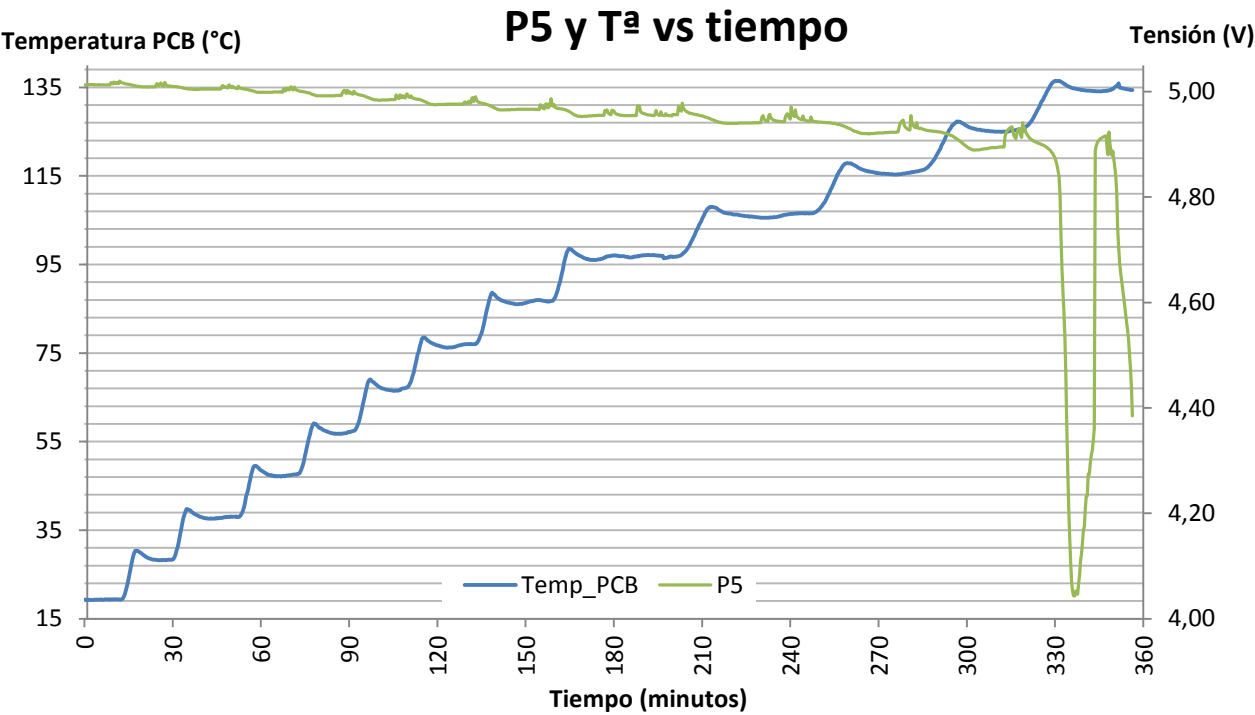
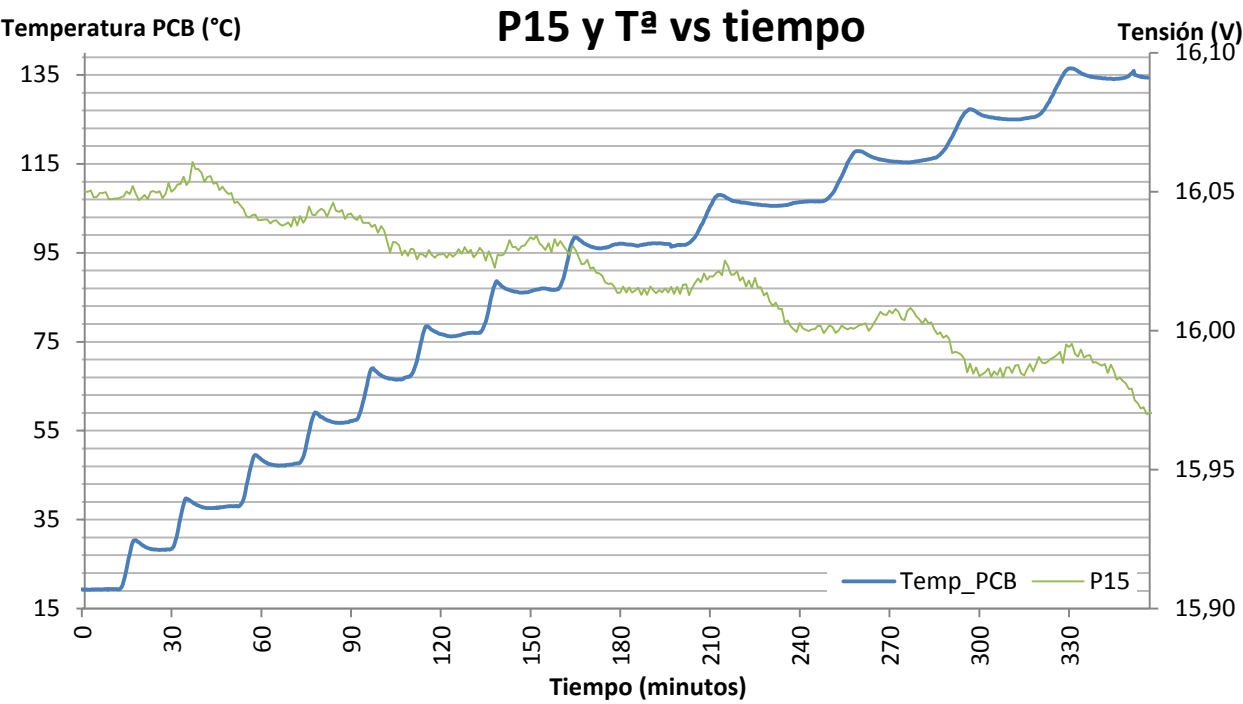


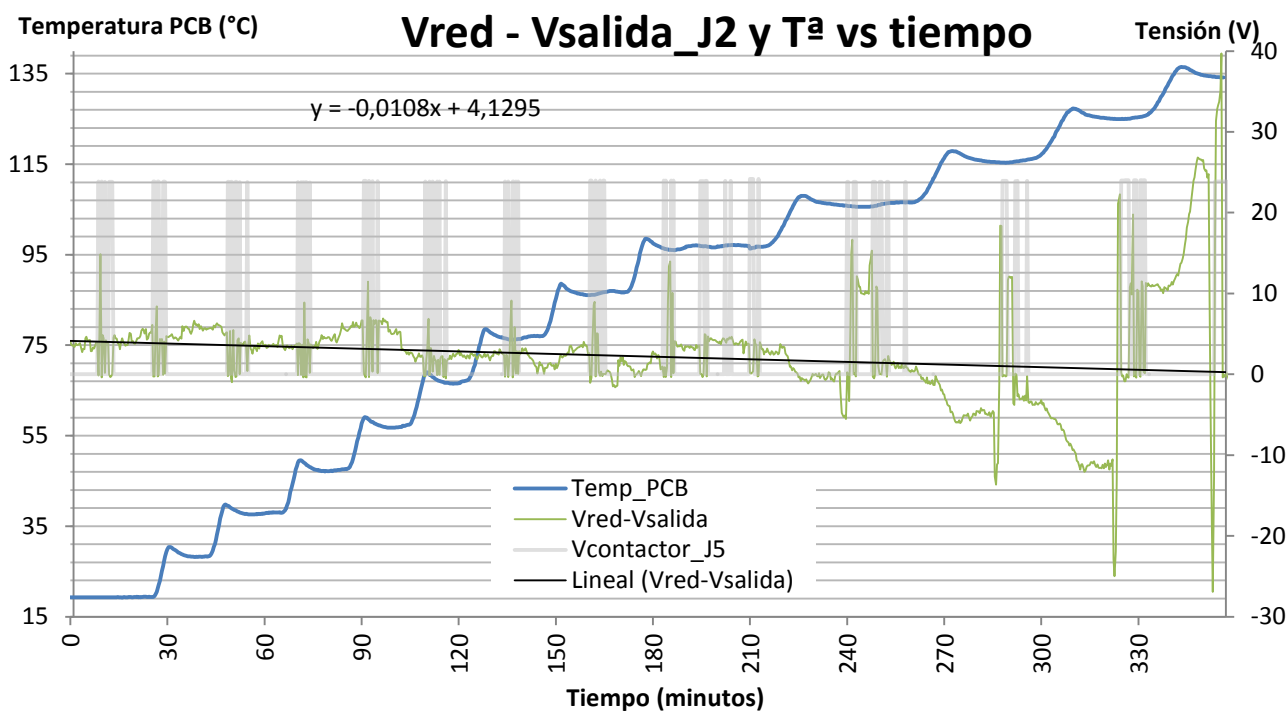
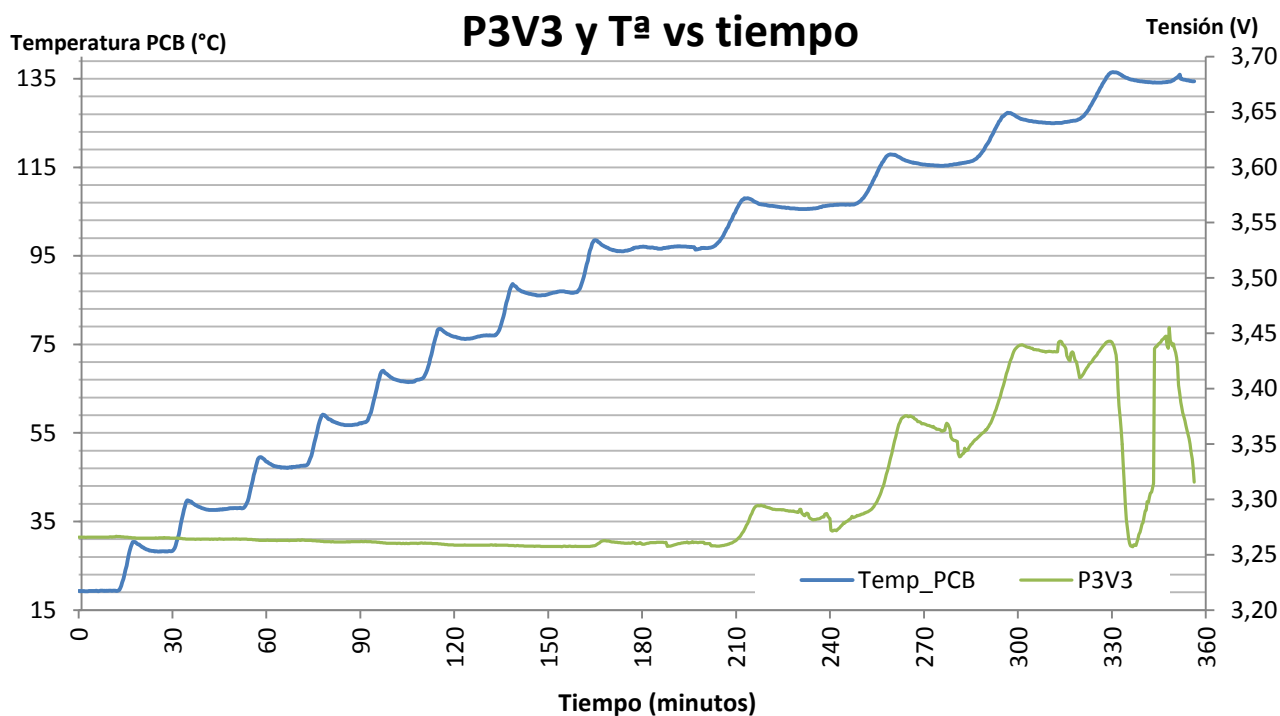




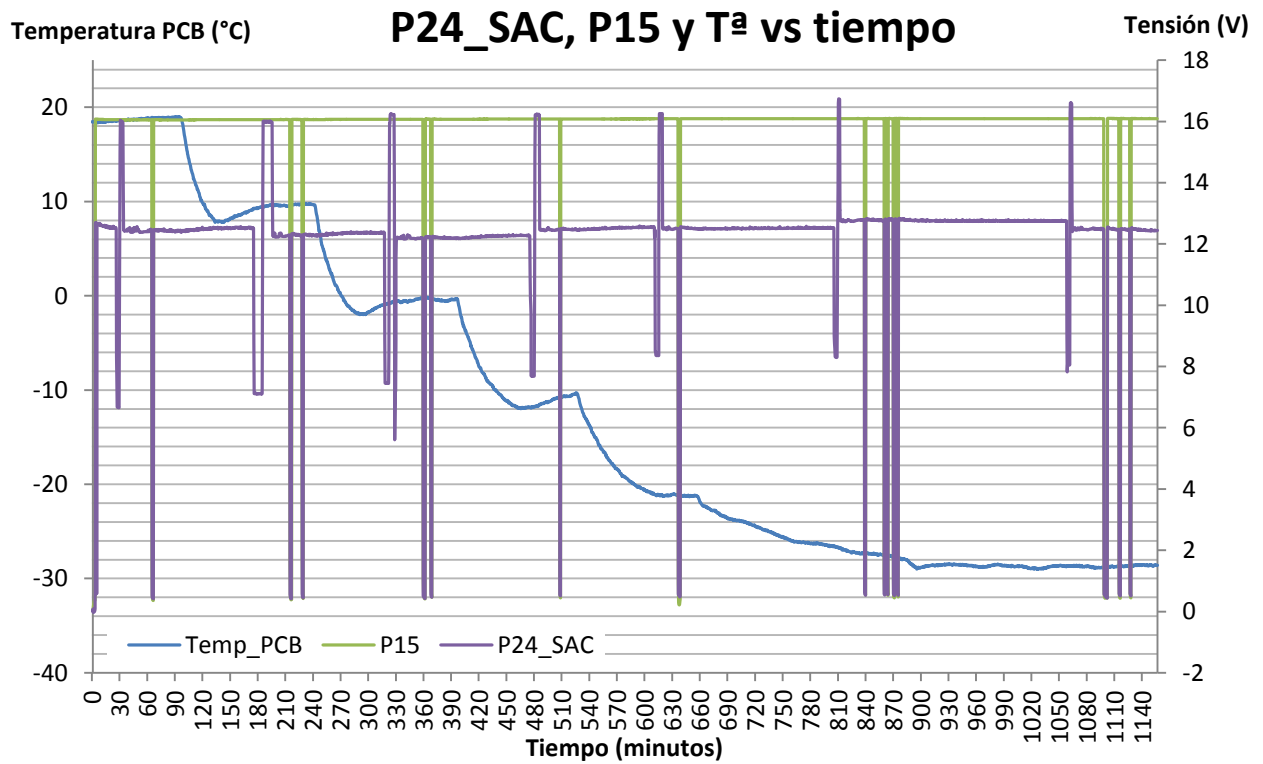
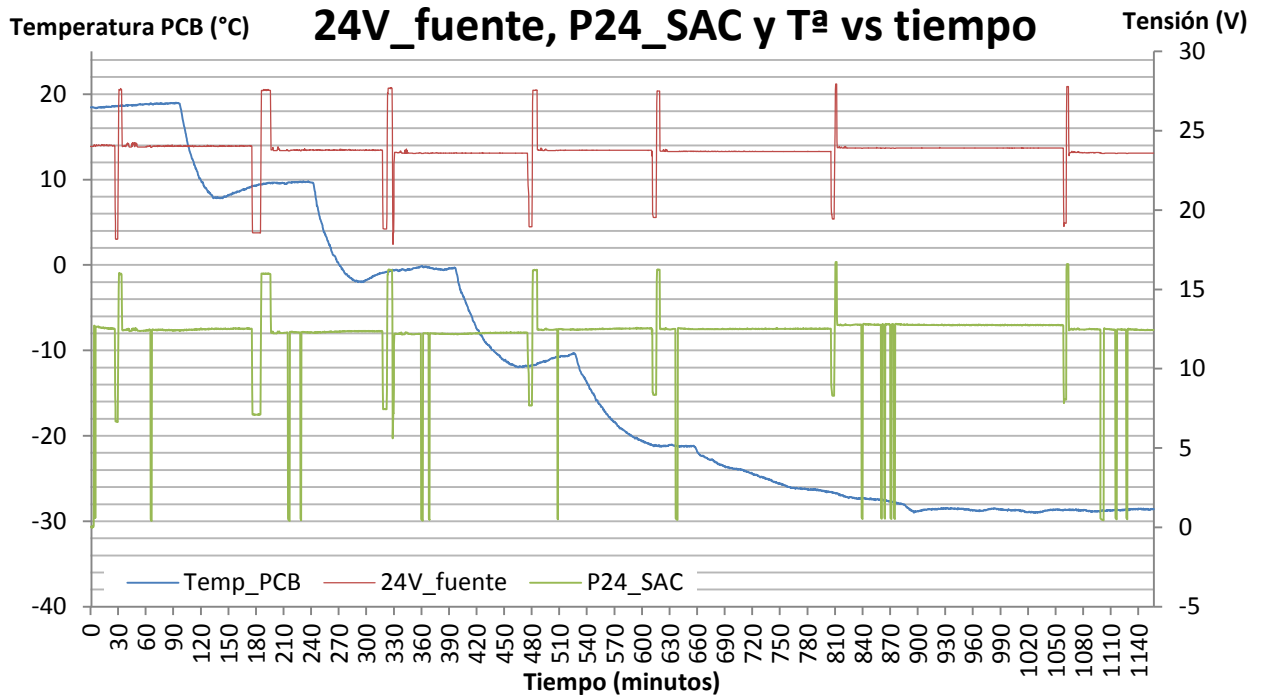
En las anteriores gráficas, se han mostrado los resultados de los ensayos realizados en su totalidad y a continuación se estudiará la evolución de las diferentes variables solamente durante las variaciones de temperatura (escalones). Así, se consigue separar y aislar el efecto de las variaciones en la tensión de alimentación en los reguladores lineales de la tarjeta con la temperatura.

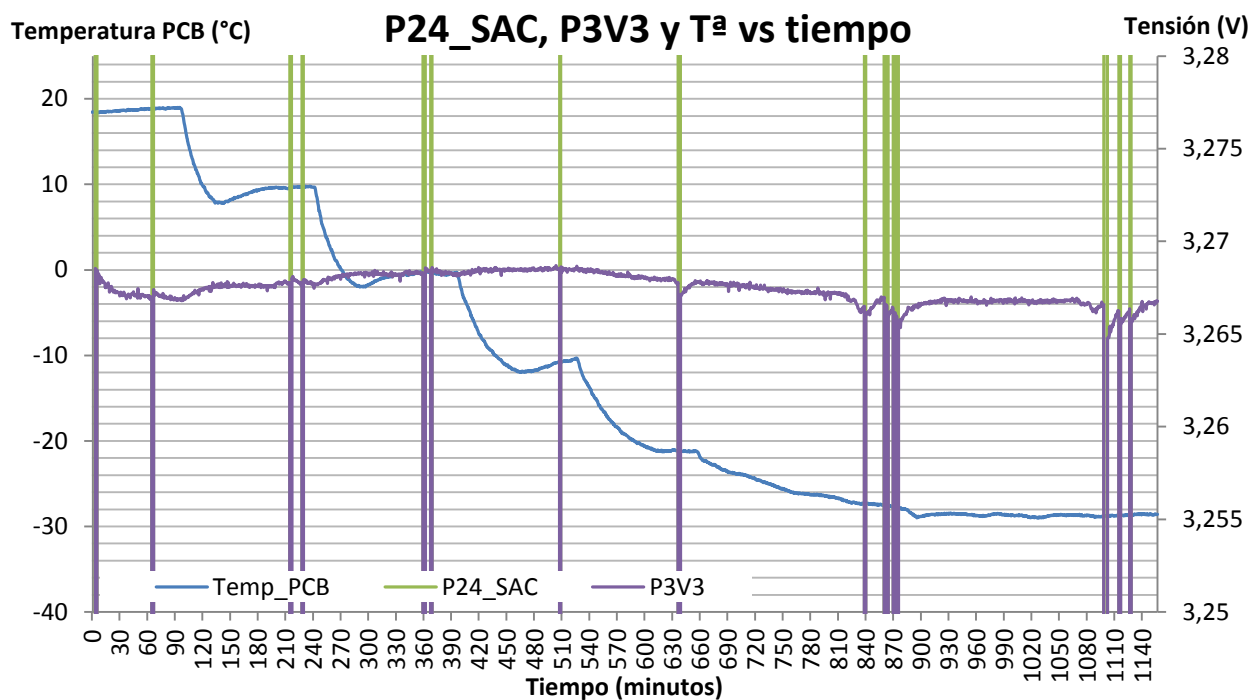
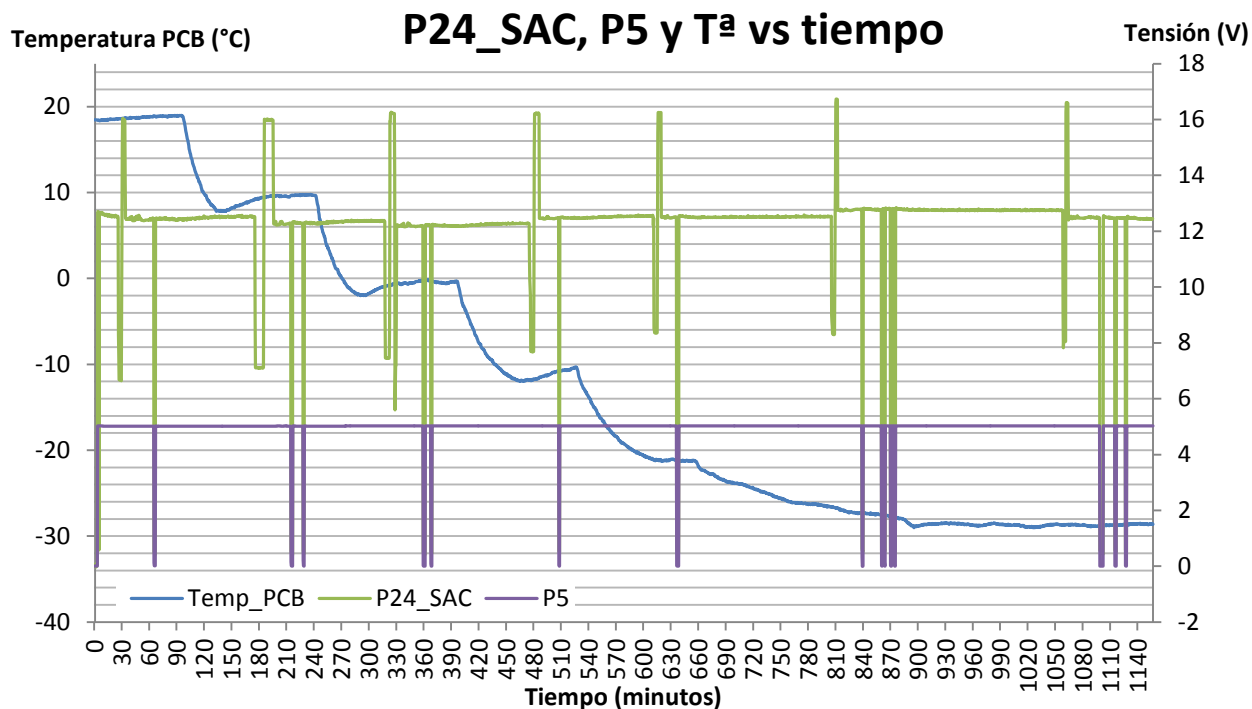


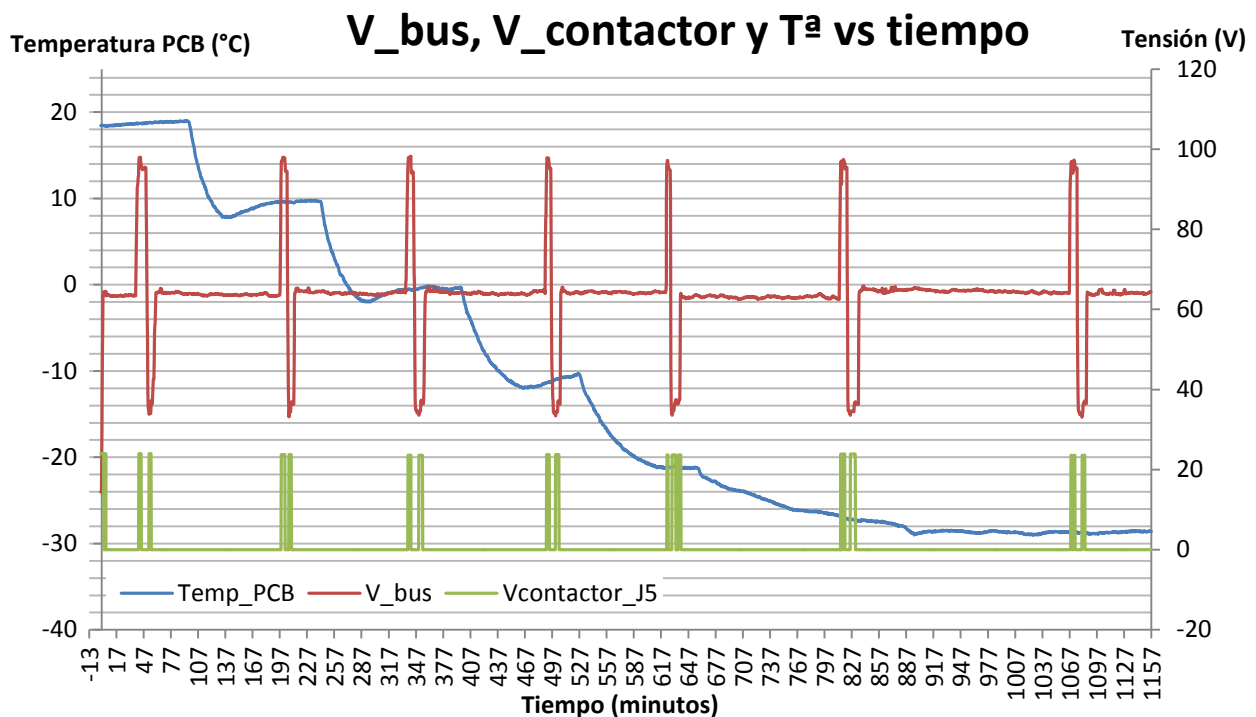
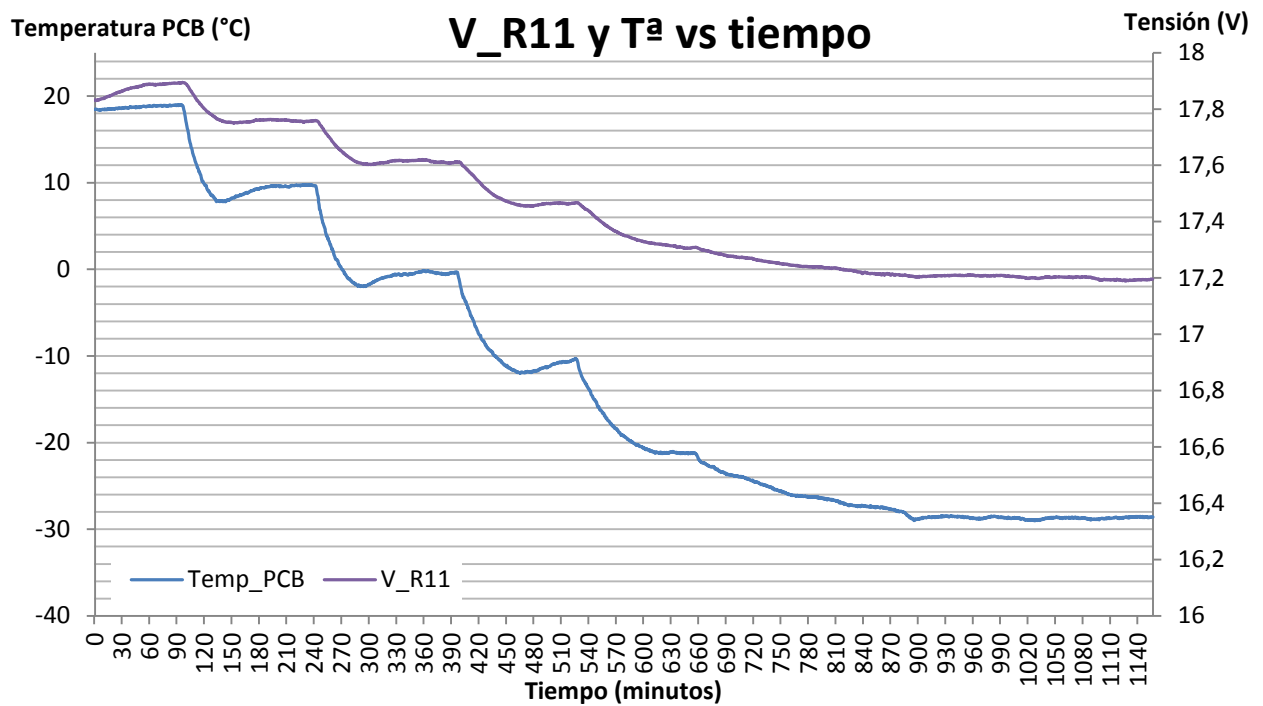


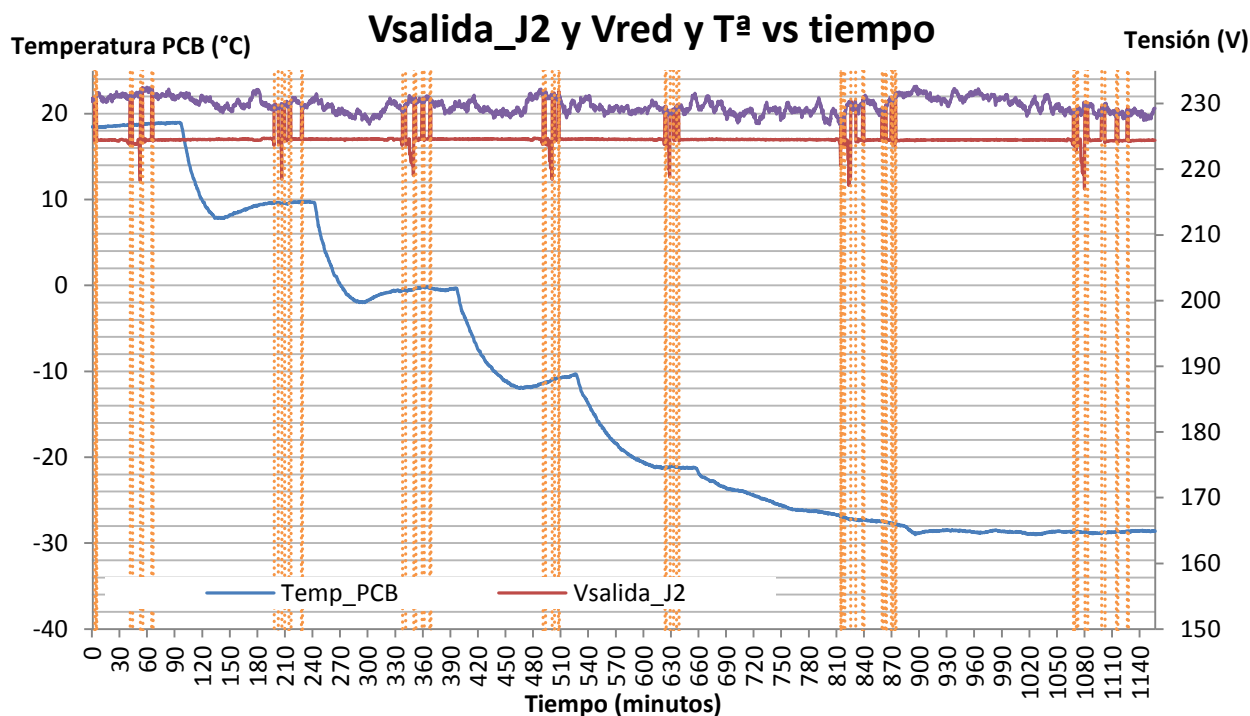


3.2 CSS

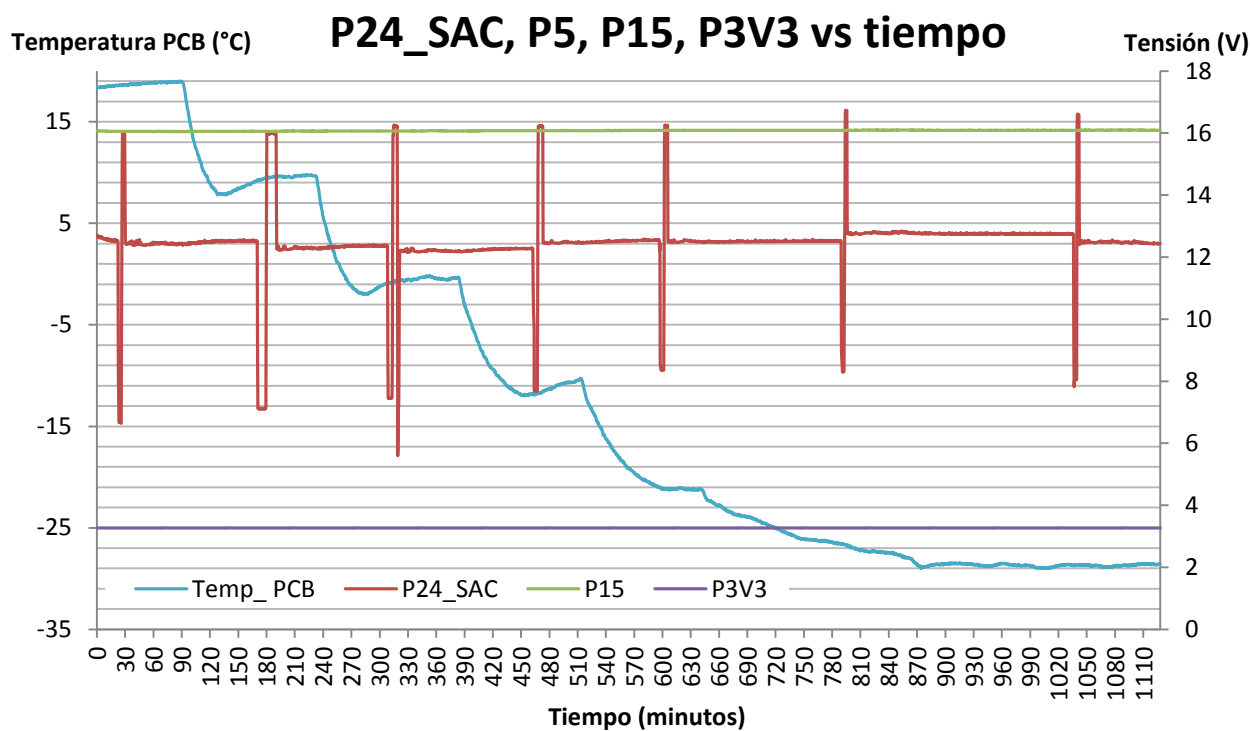


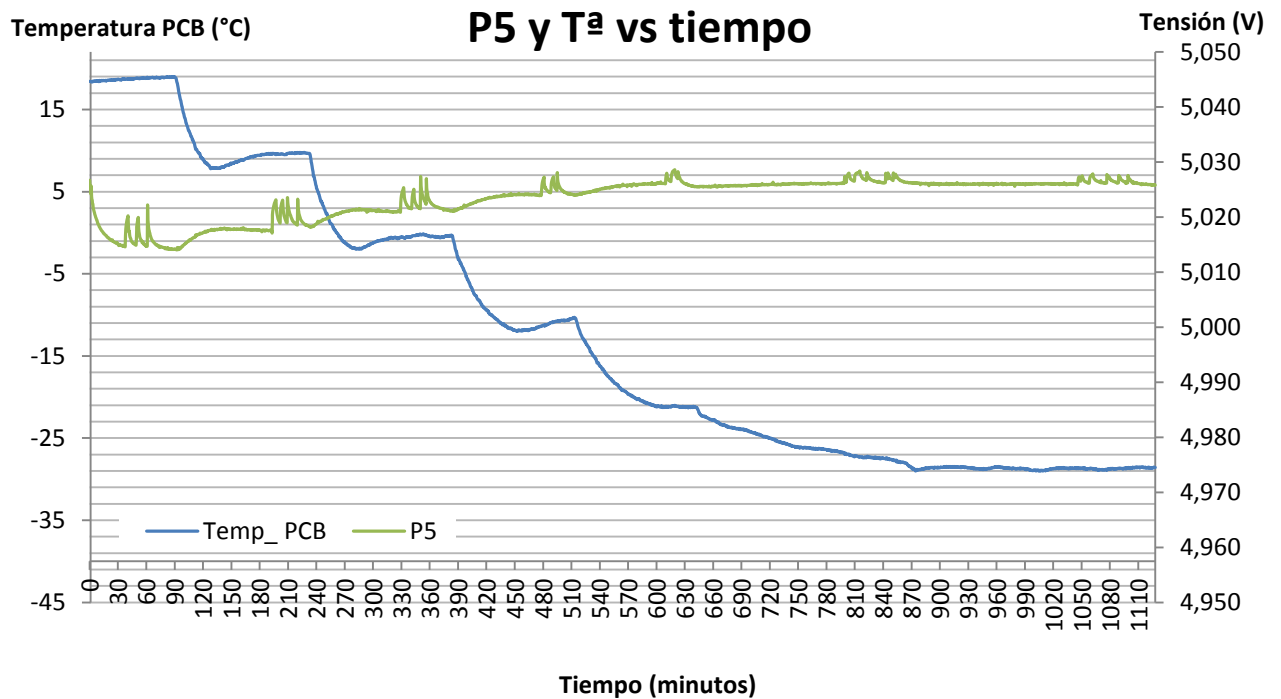
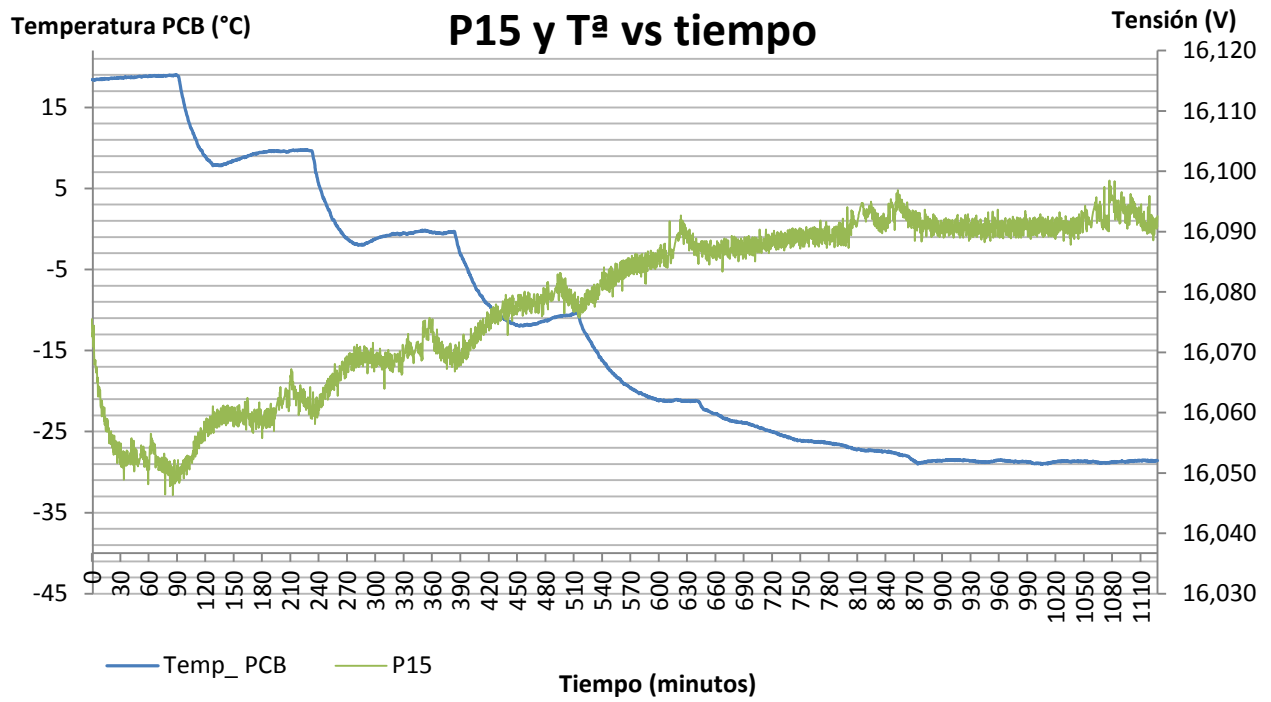


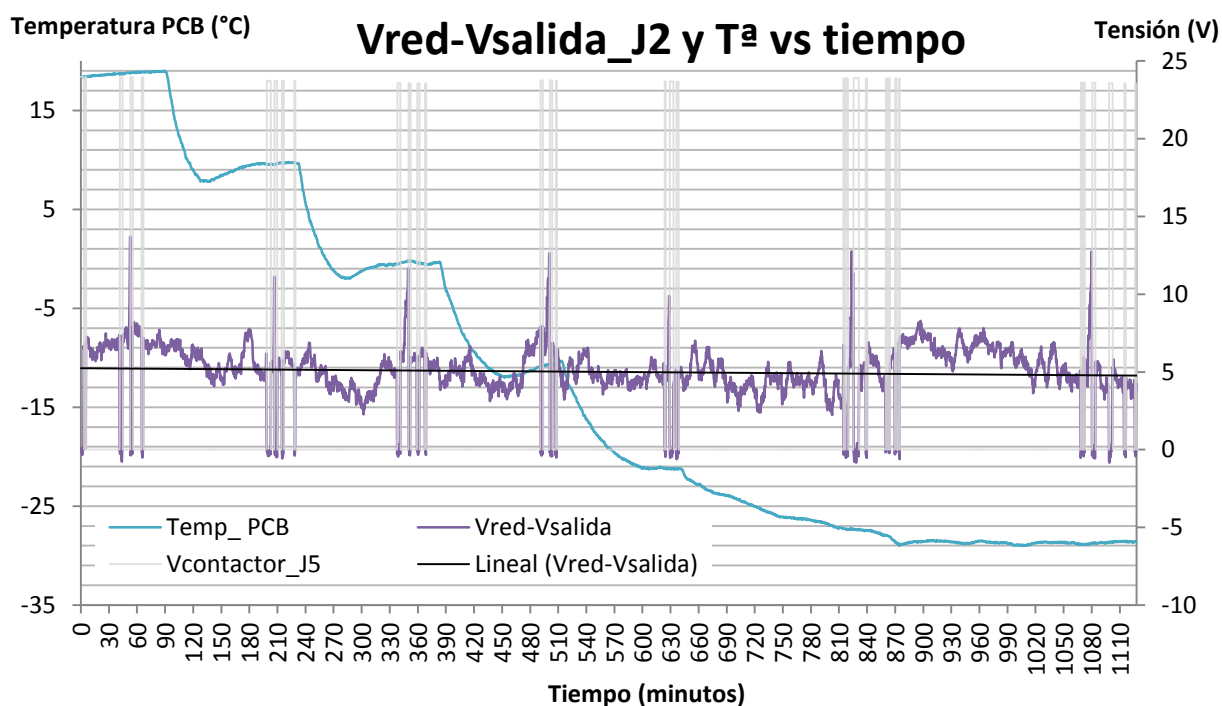
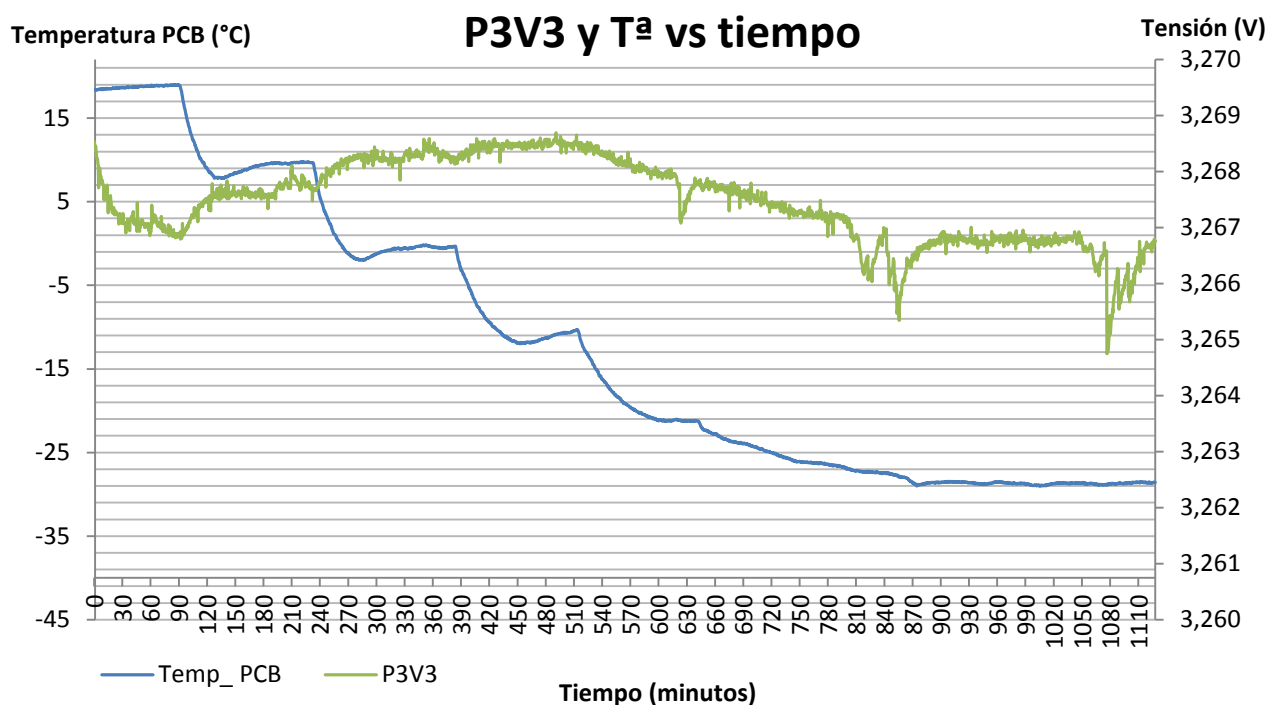




En las anteriores gráficas, se han mostrado los resultados de los ensayos realizados en su totalidad y a continuación se estudiará la evolución de las diferentes variables solamente durante las variaciones de temperatura (escalones). Así, se consigue separar y aislar el efecto de las variaciones en la tensión de alimentación en los reguladores lineales de la tarjeta con la temperatura.

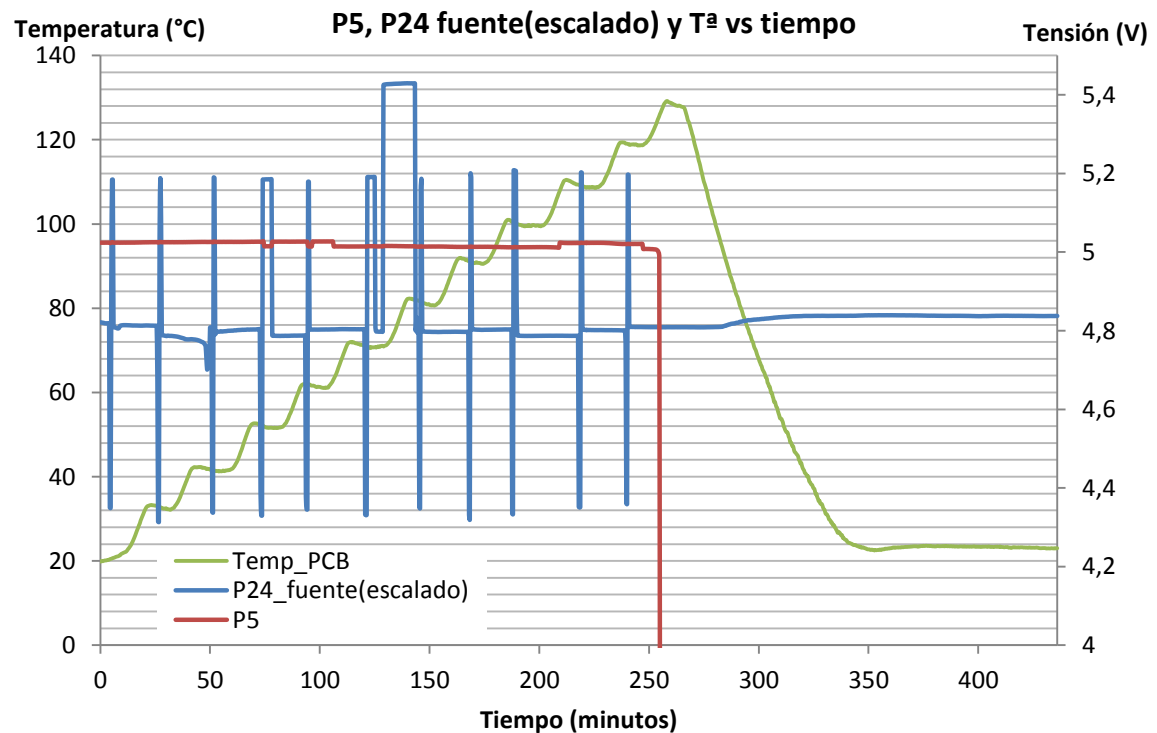
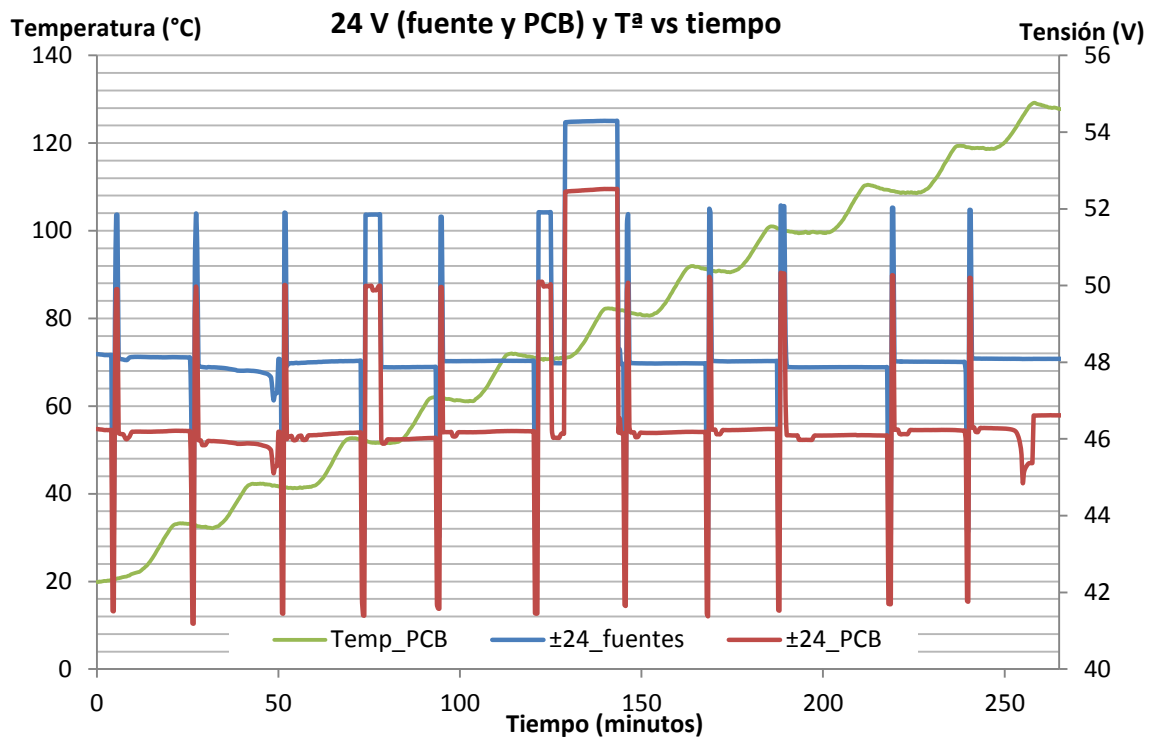




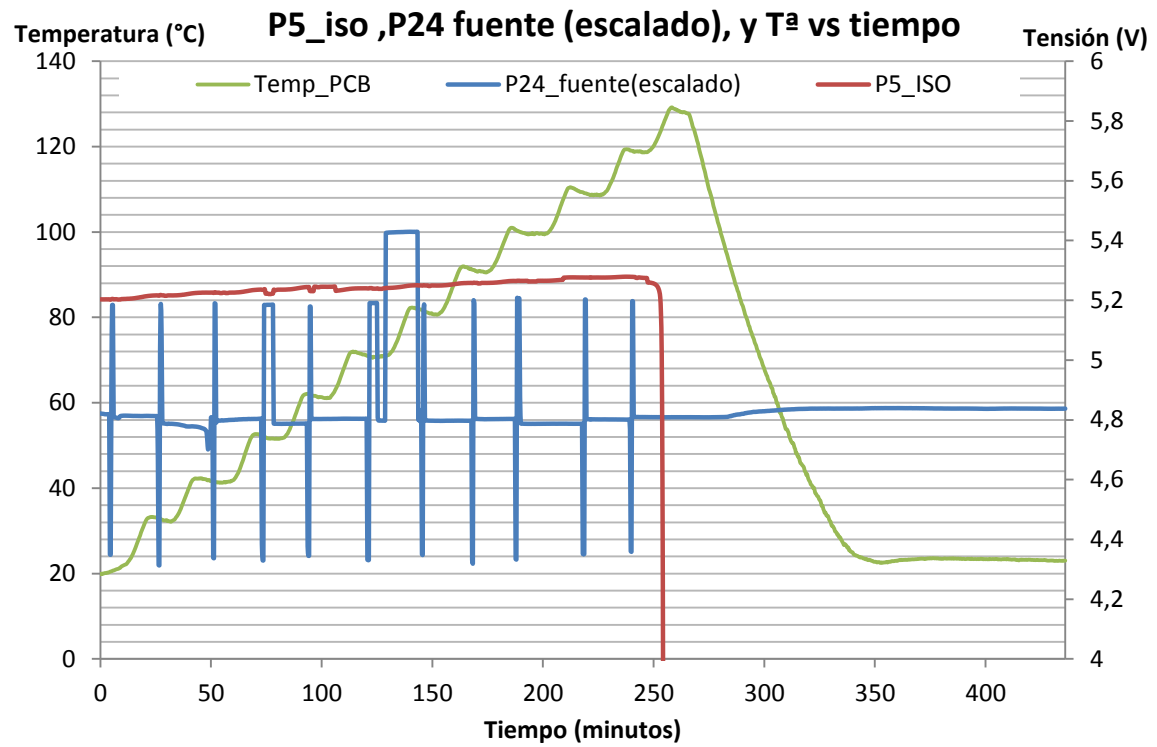


4 Medida de Vpanel

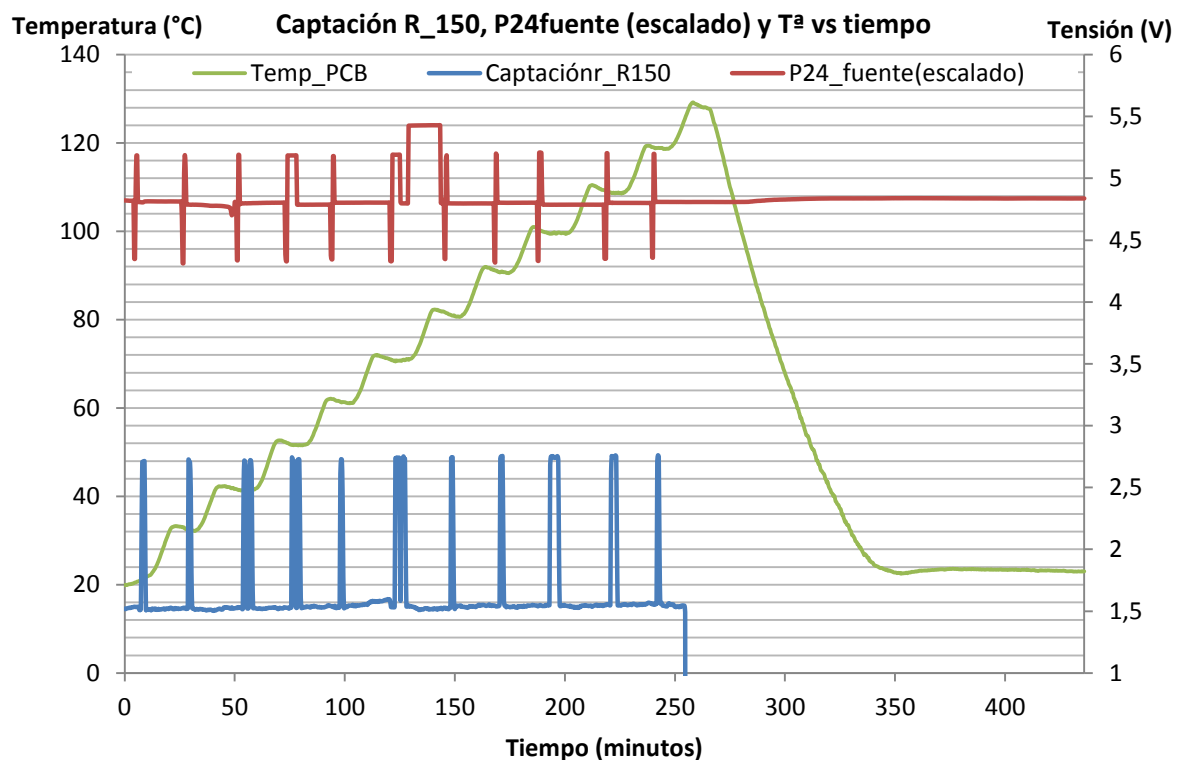
4.1 HSS



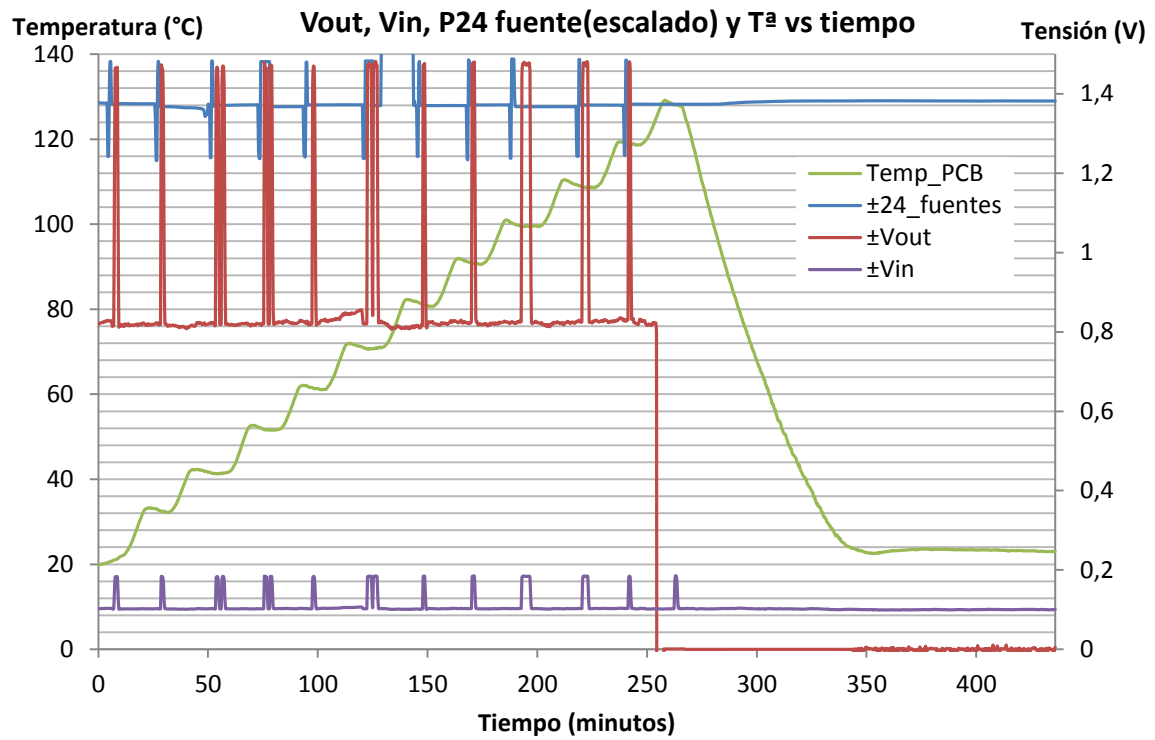
*P24_fuente tiene un factor de escala de 1/1



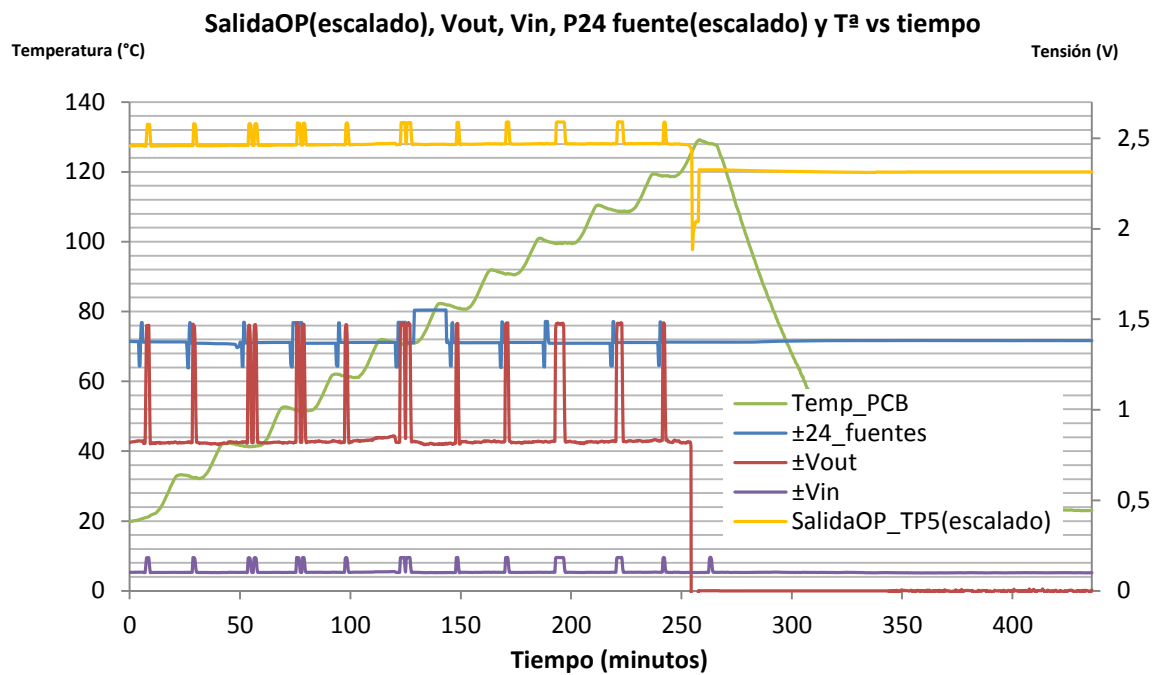
*P24_fuente tiene un factor de escala de 1/10



*P24_fuente tiene un factor de escala de 1/10

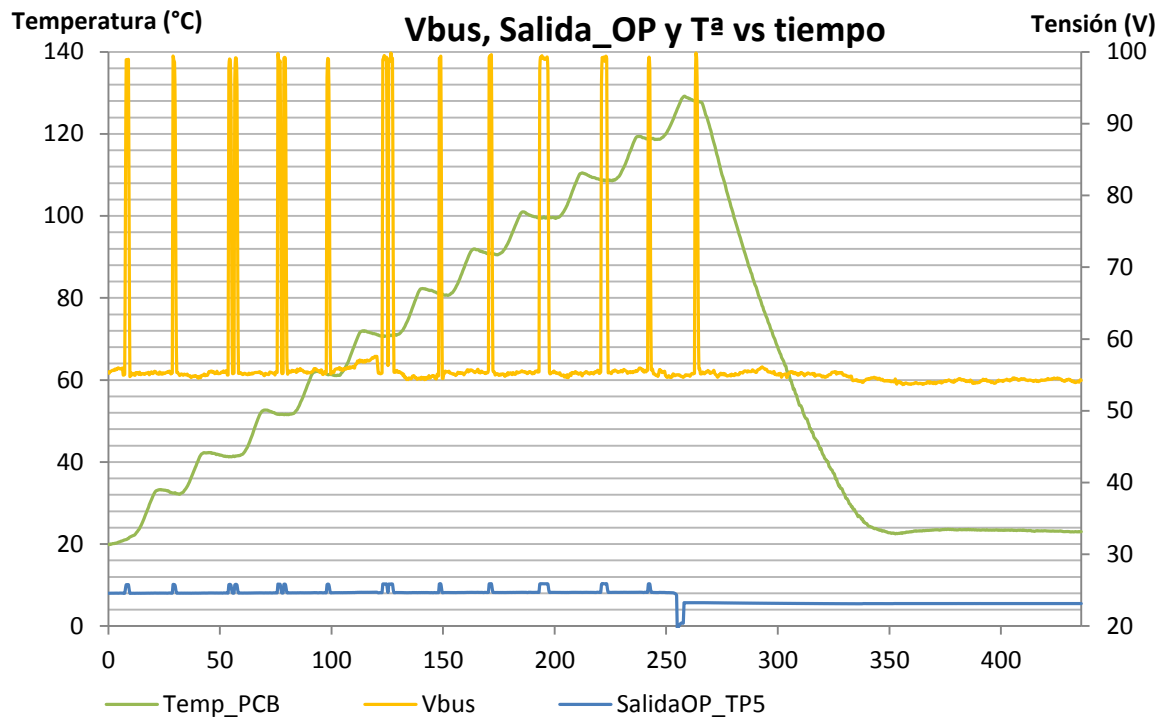


*P24_fuente tiene un factor de escala de 1/35



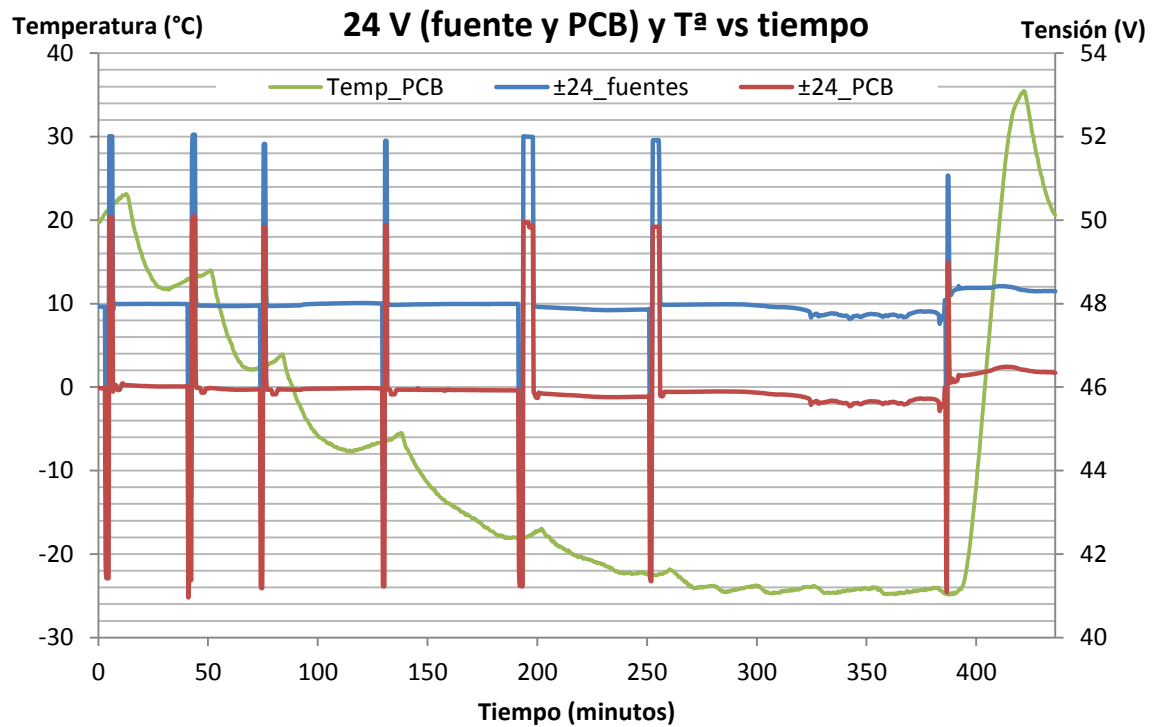
*P24_fuente tiene un factor de escala de 1/35

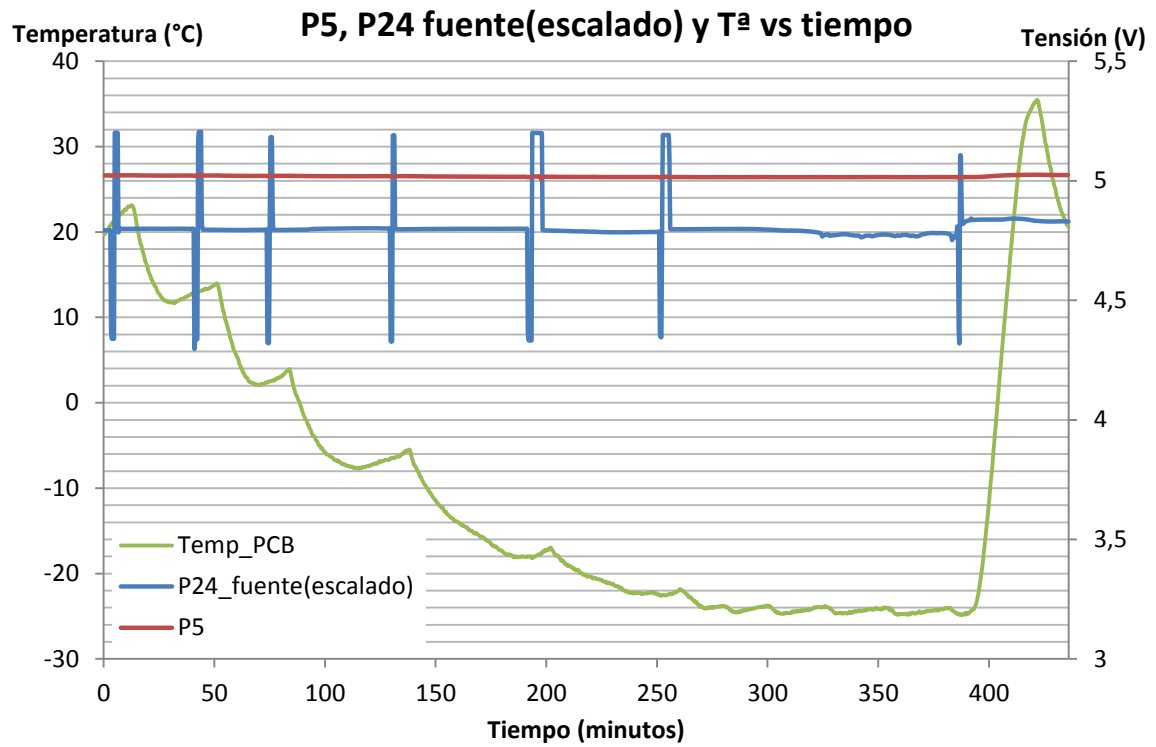
*SalidaOP_TP5 tiene un factor de escala de 1/10



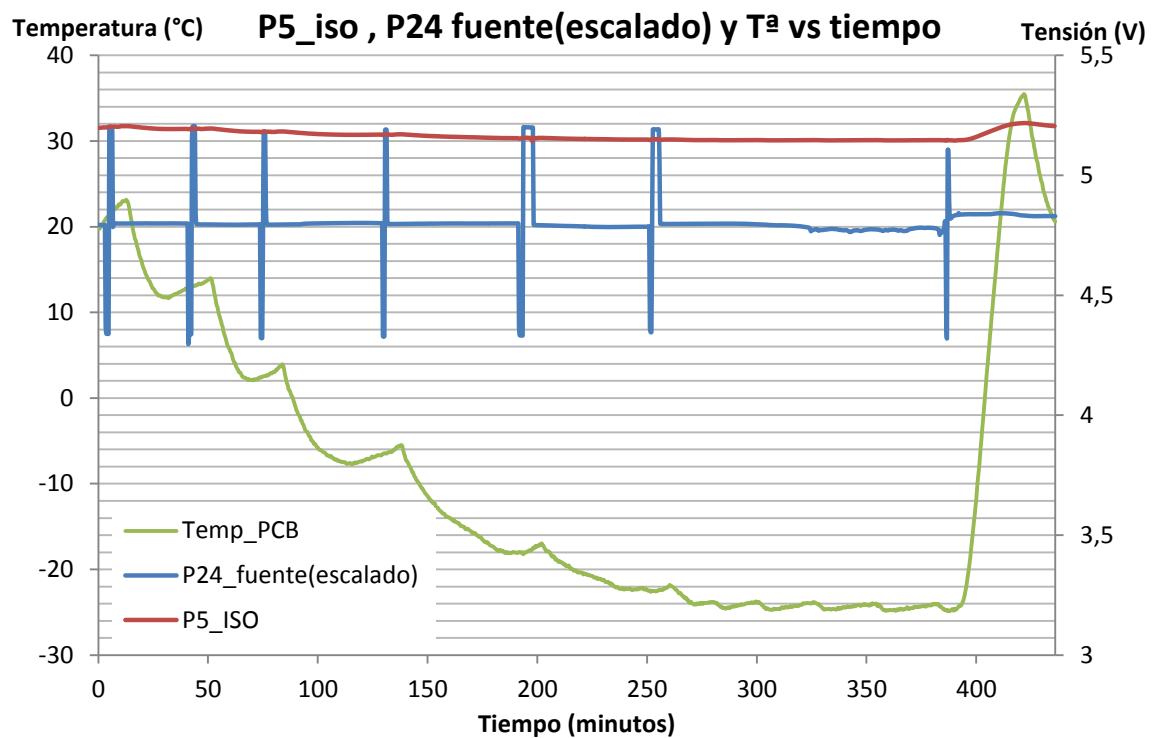
*SalidaOP_TP5 tiene un factor de escala de 1/10

4.2 CSS

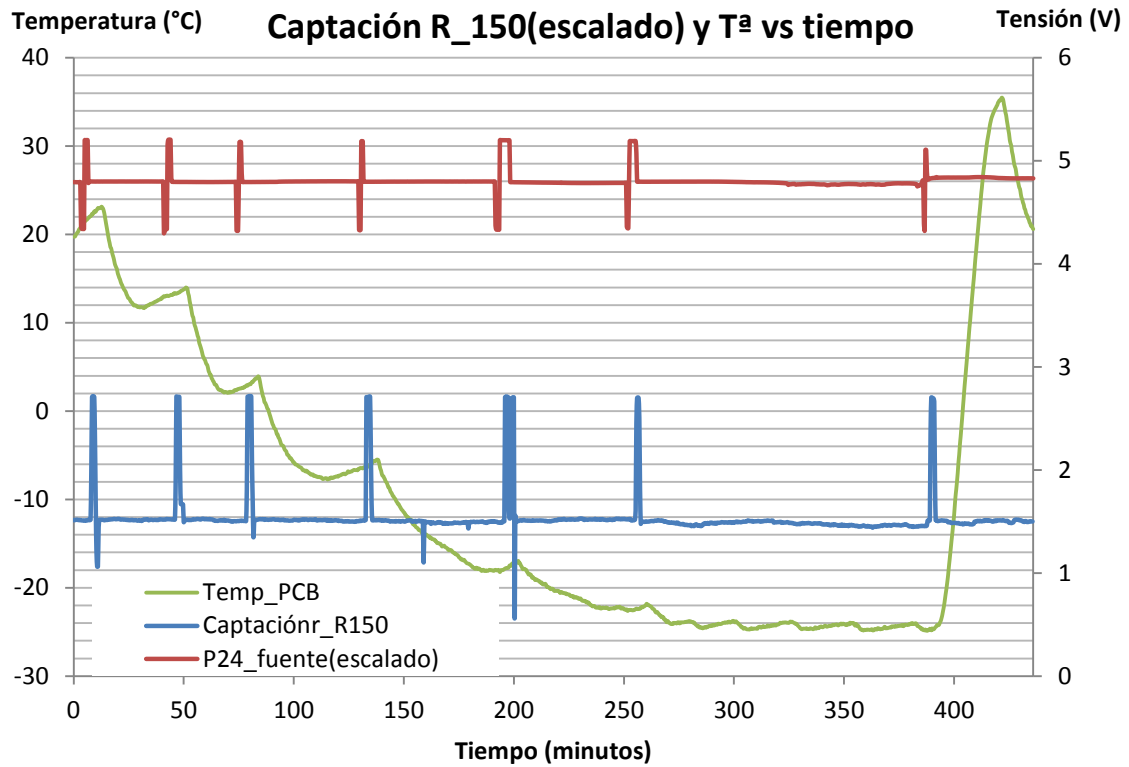




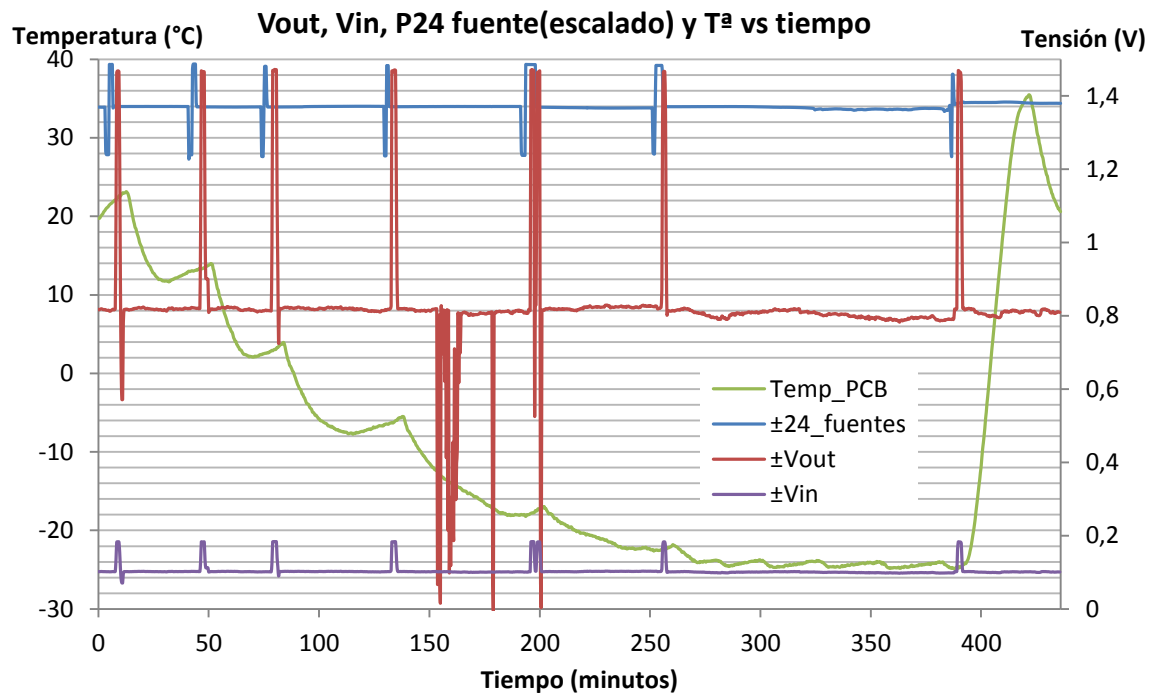
*P24_fuente tiene un factor de escala de 1/10



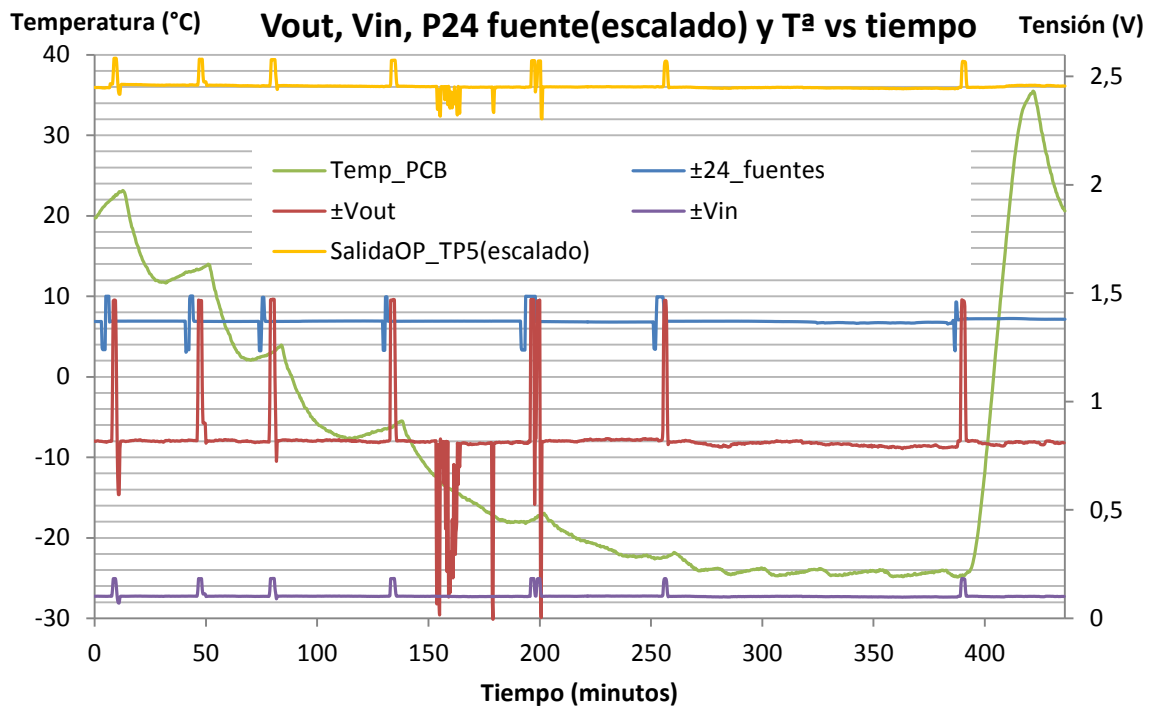
*P24_fuente tiene un factor de escala de 1/10



*P24_fuente tiene un factor de escala de 1/10

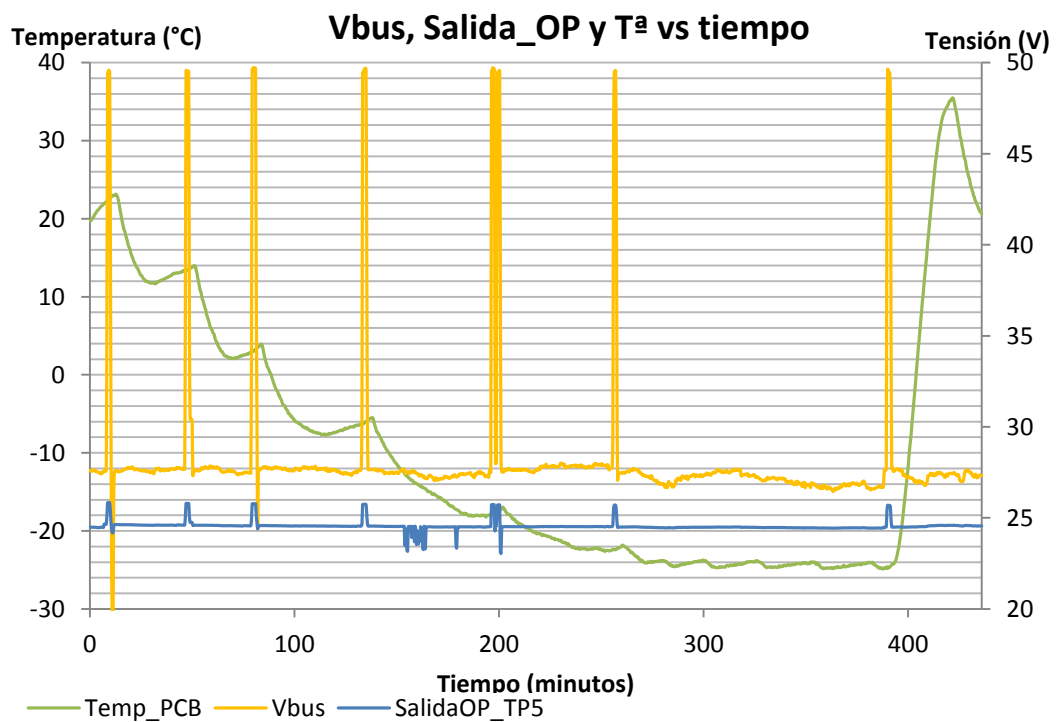


*P24_fuente tiene un factor de escala de 1/35



*P24_fuente tiene un factor de escala de 1/35

*SalidaOP_TP5 tiene un factor de escala de 1/10

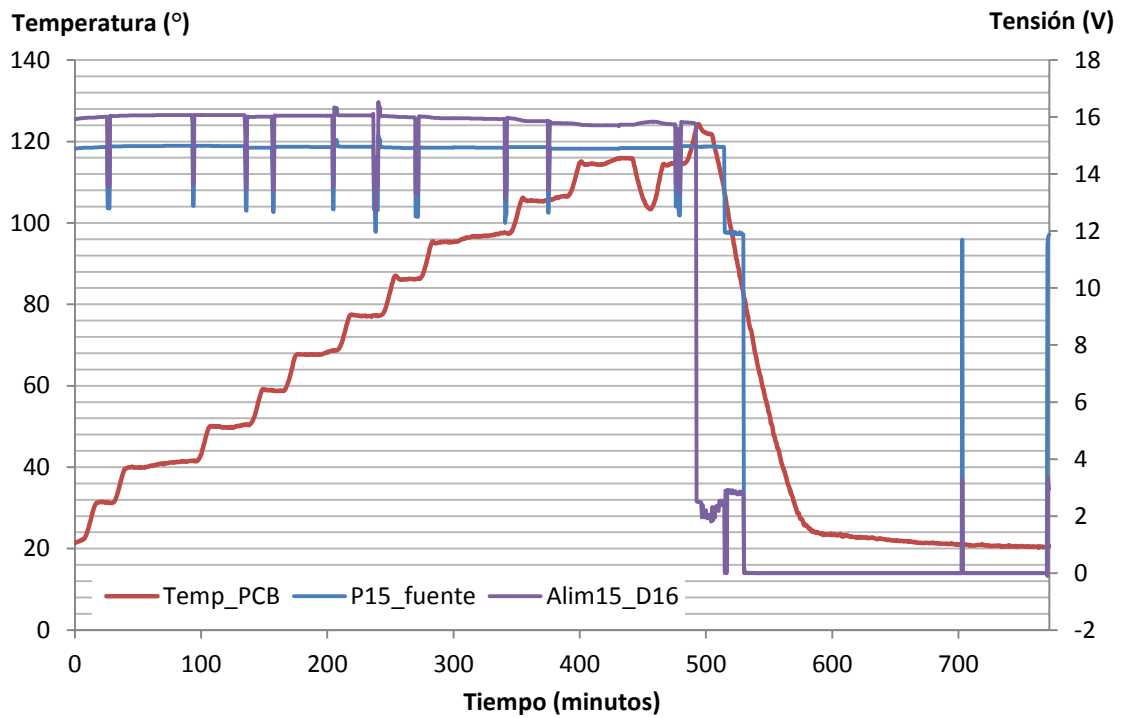


*SalidaOP_TP5 tiene un factor de escala de 1/10

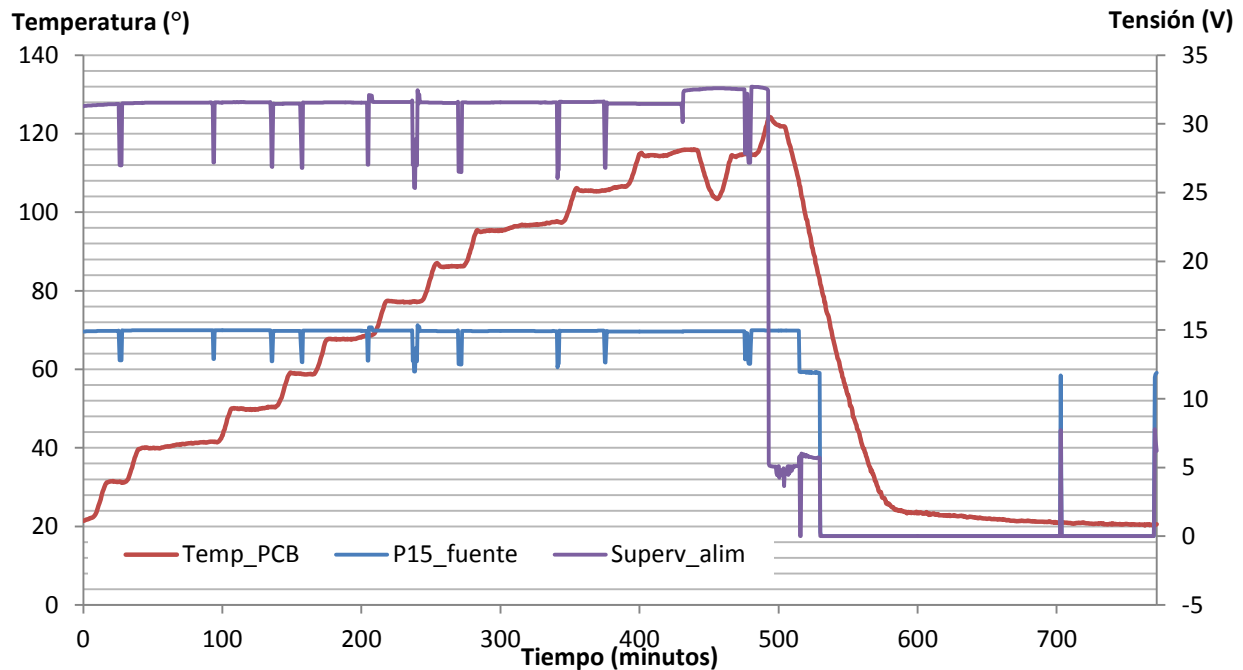
5 Driver IGBT + Tarjeta conexión a IGBT

5.1 HSS

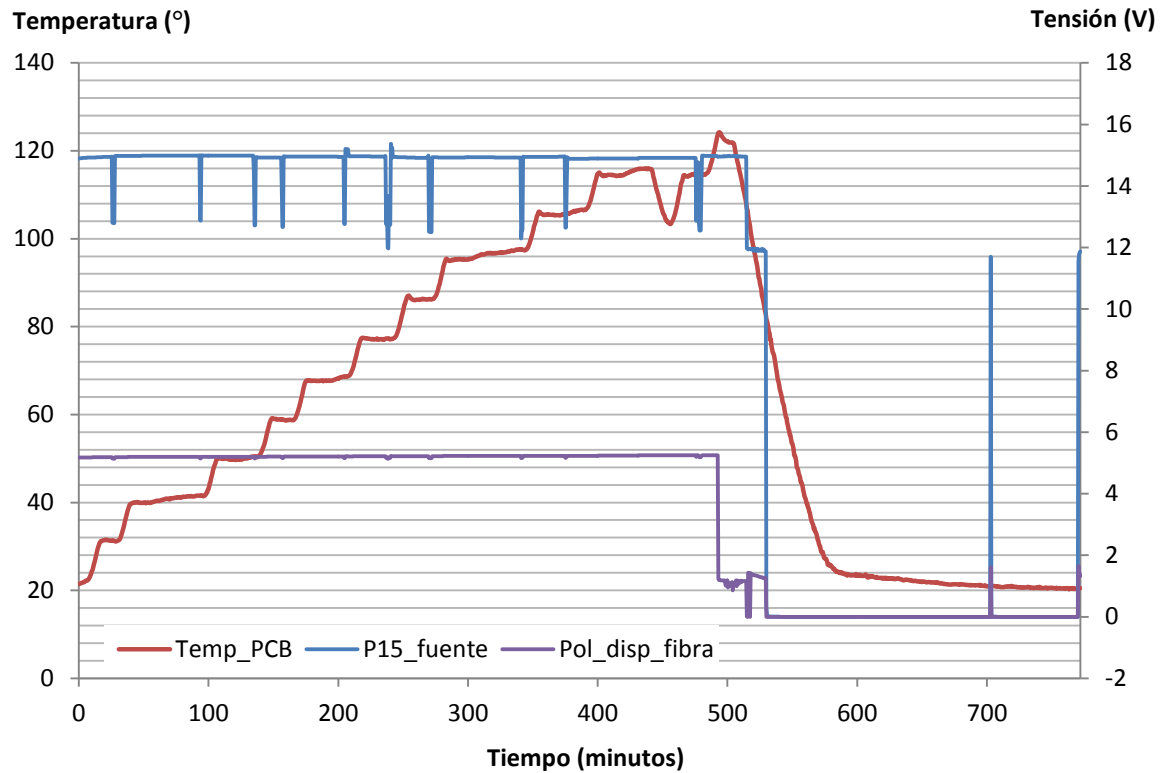
Alim15_D16, P15_fuente y tª PCB vs tiempo



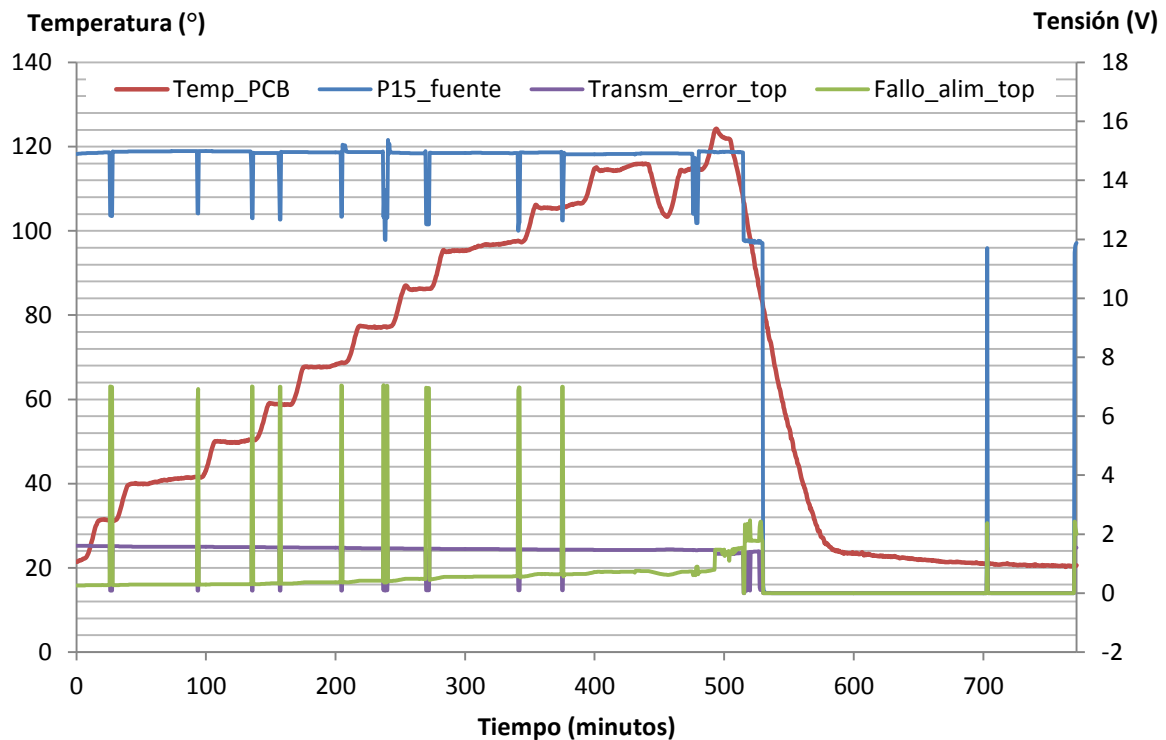
Superv_alim, P15_fuente y tª PCB vs tiempo

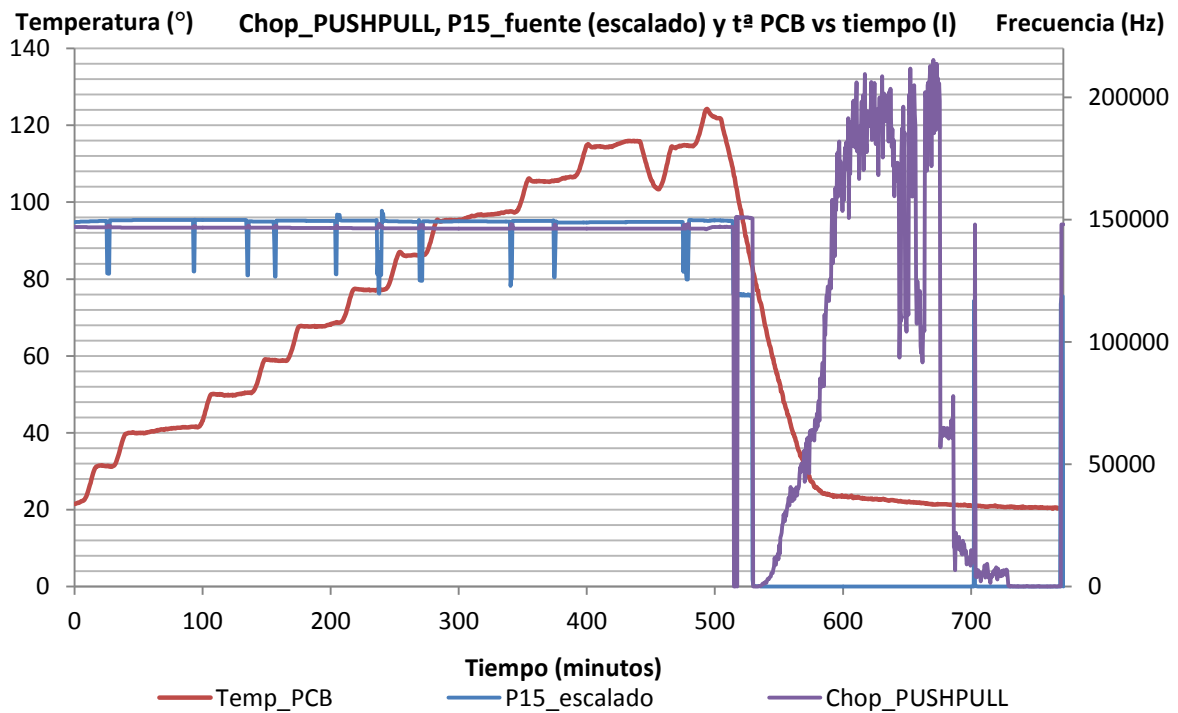
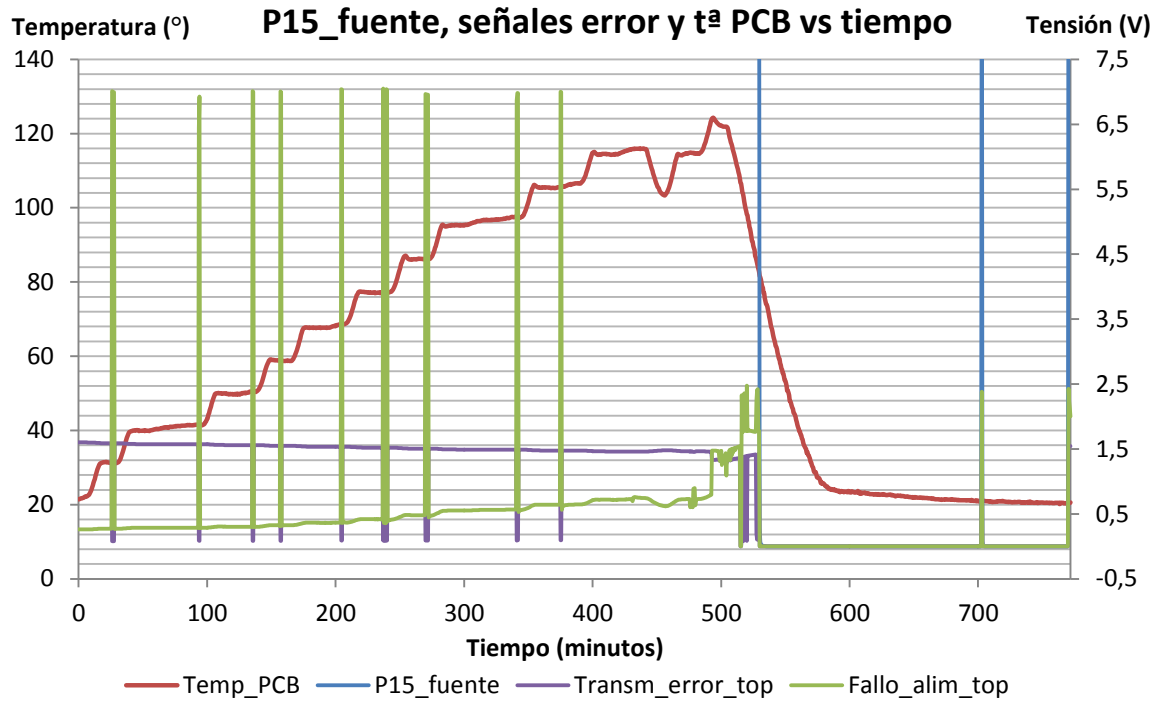


Pol_disp_fibra, P15_fente y t^a PCB vs tiempo

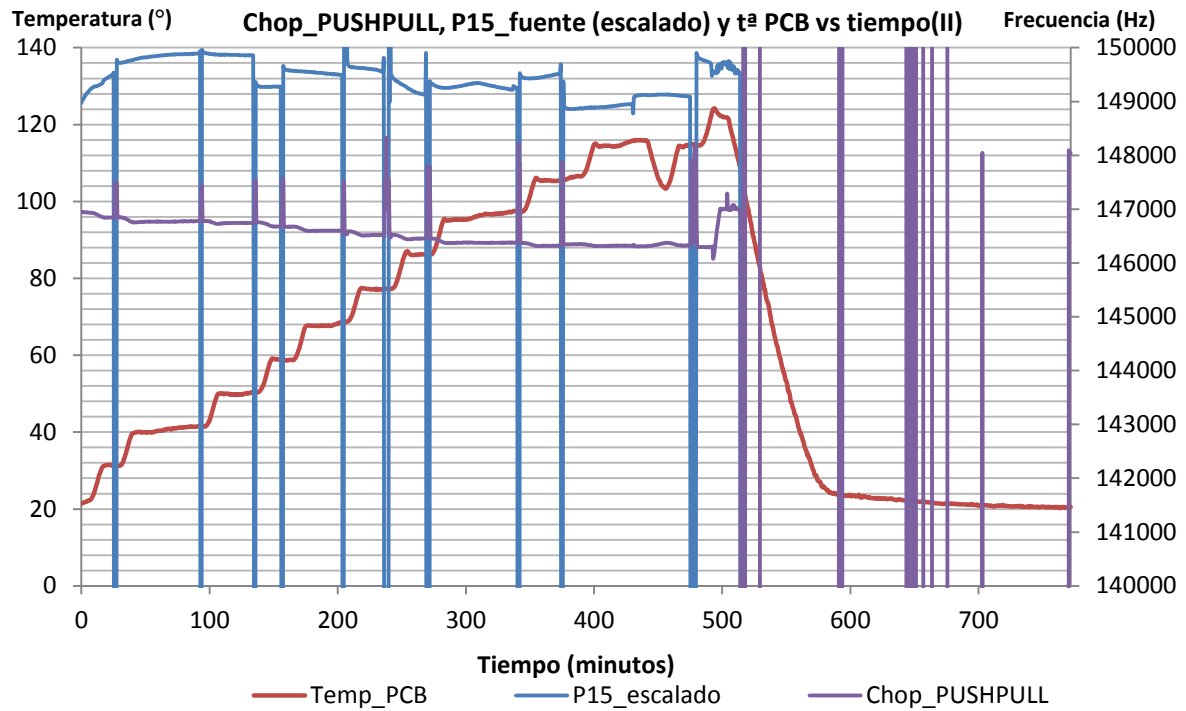


P15_fuente, señales error y t^a PCB vs tiempo

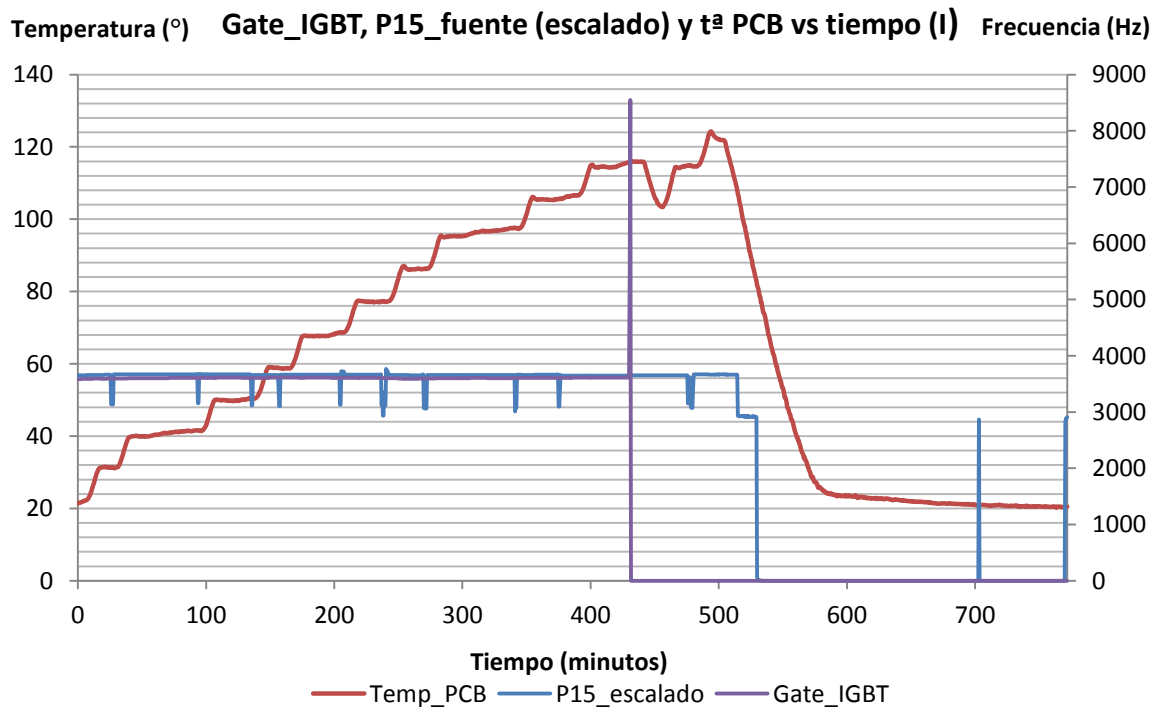




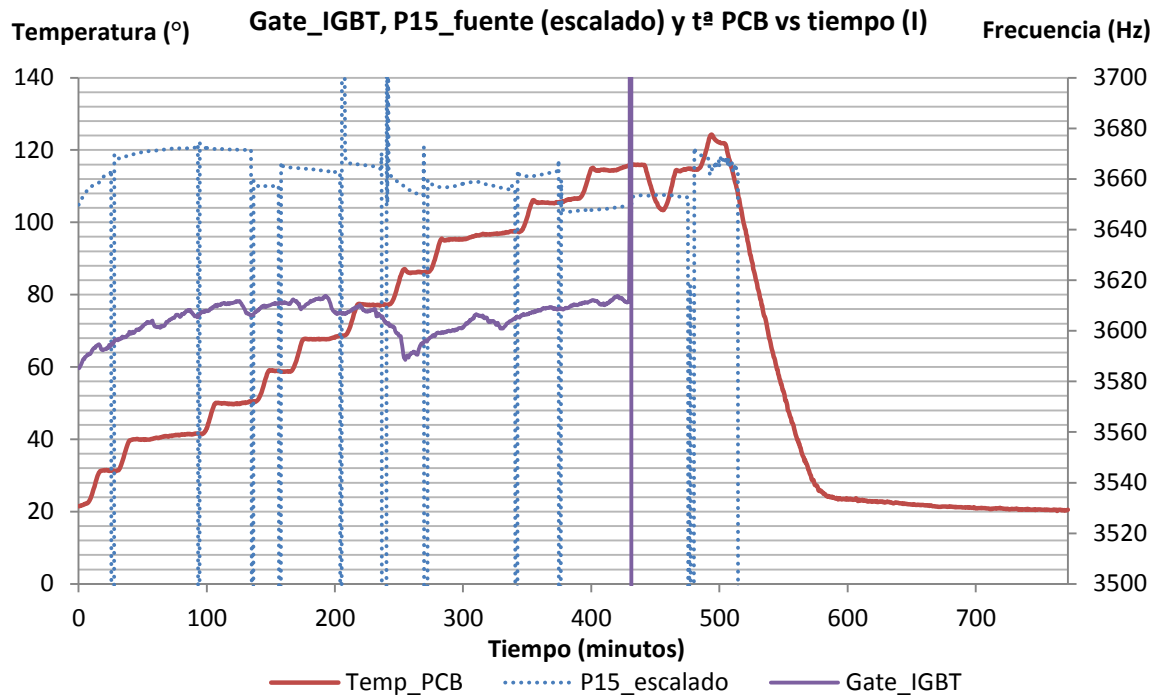
P15_fuente: Escala 1:10000



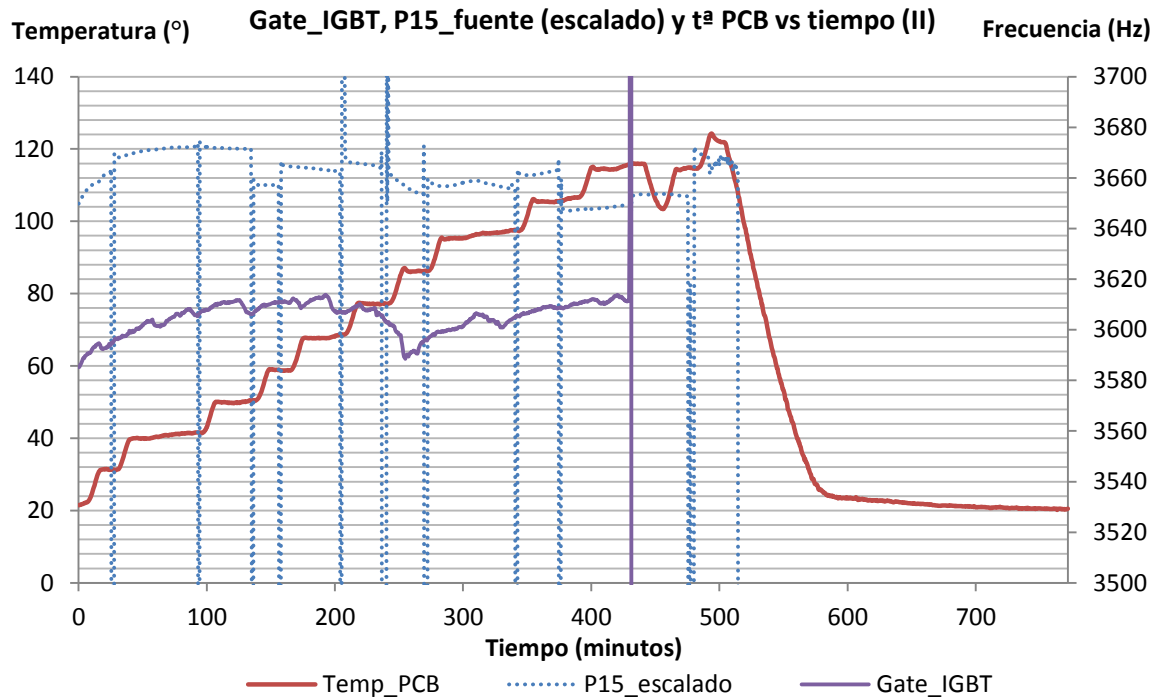
P15_fuente: Escala 1:10000



P15_fuente: Escala 1:245



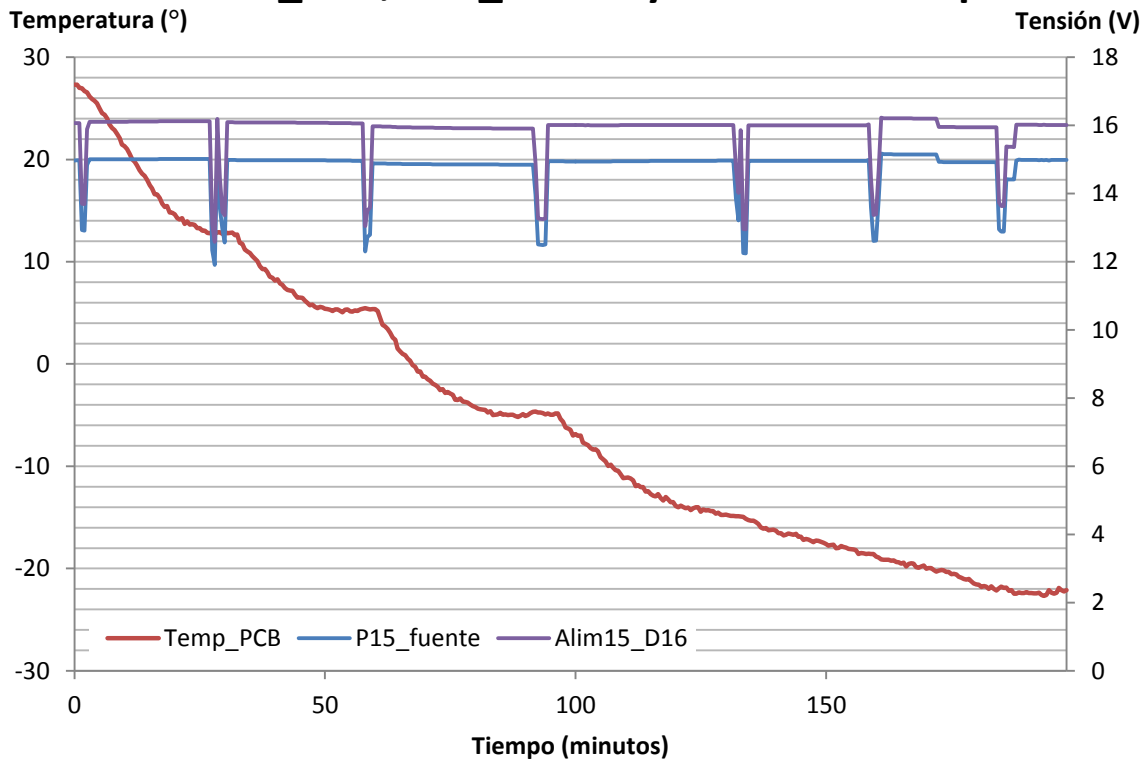
P15_fuente: Escala 1:245



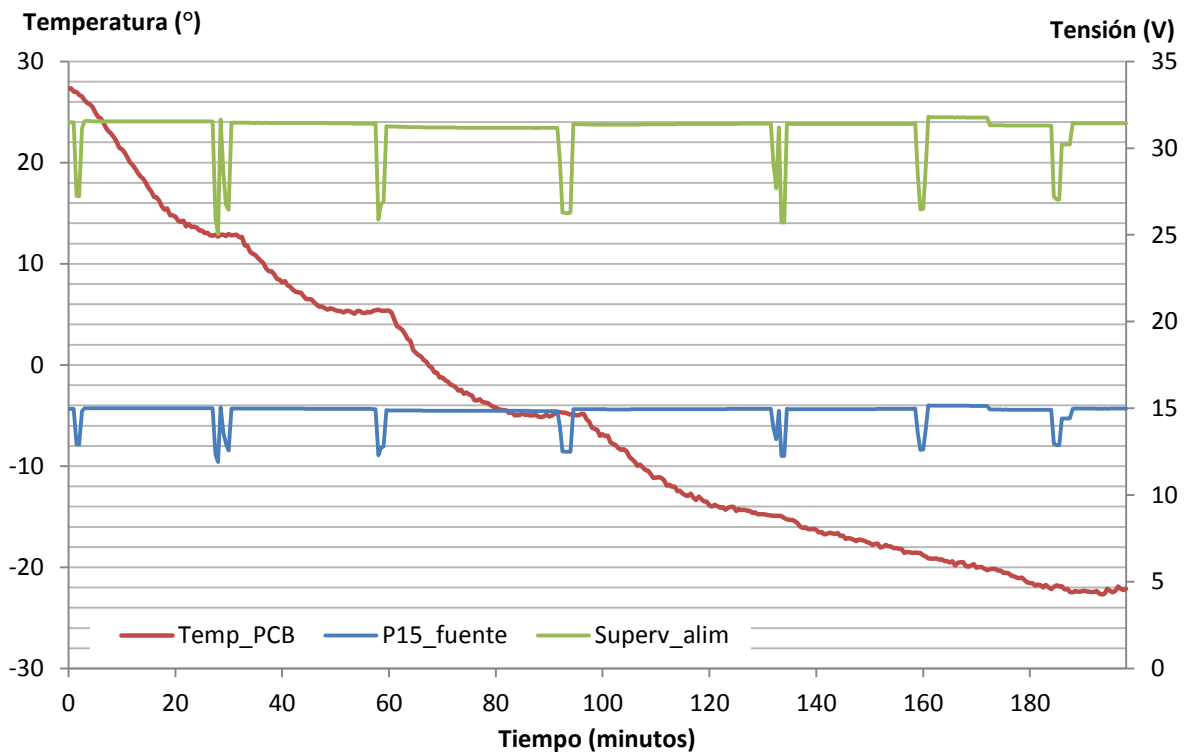
P15_fuente: Escala 1:245

5.2 CSS

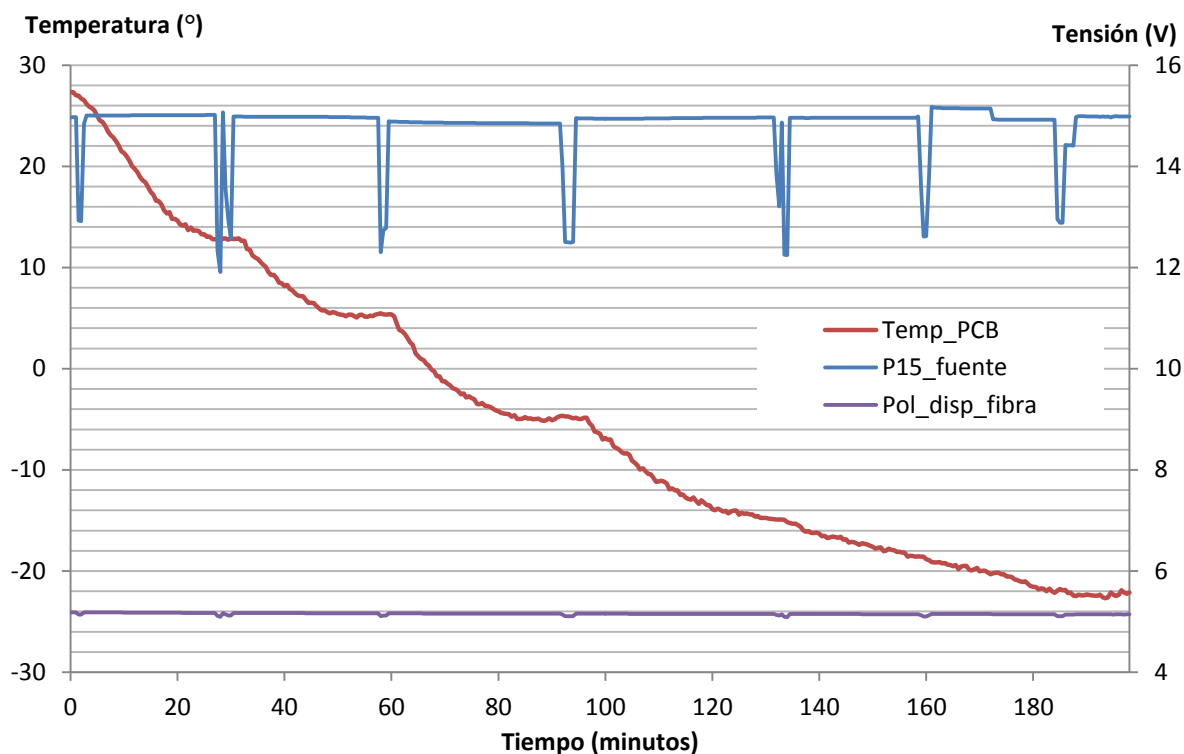
Alim15_D16, P15_fuente y t^a PCB vs tiempo



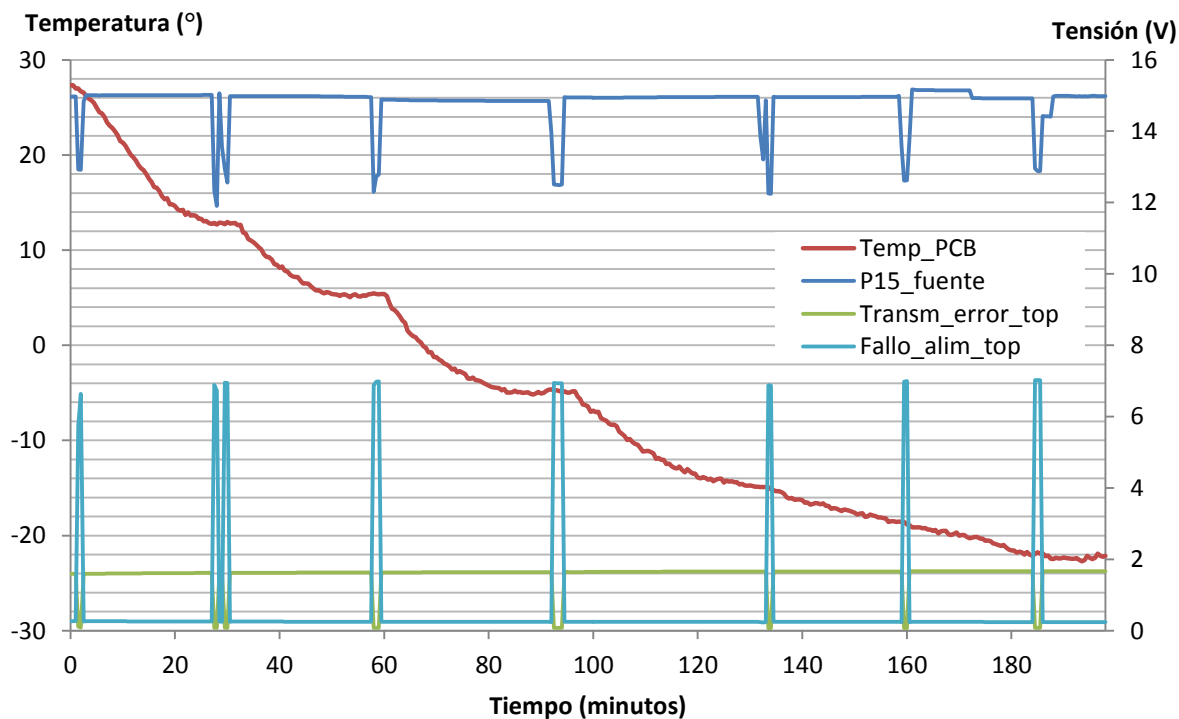
Superv_alim, P15_fuente y t^a PCB vs tiempo



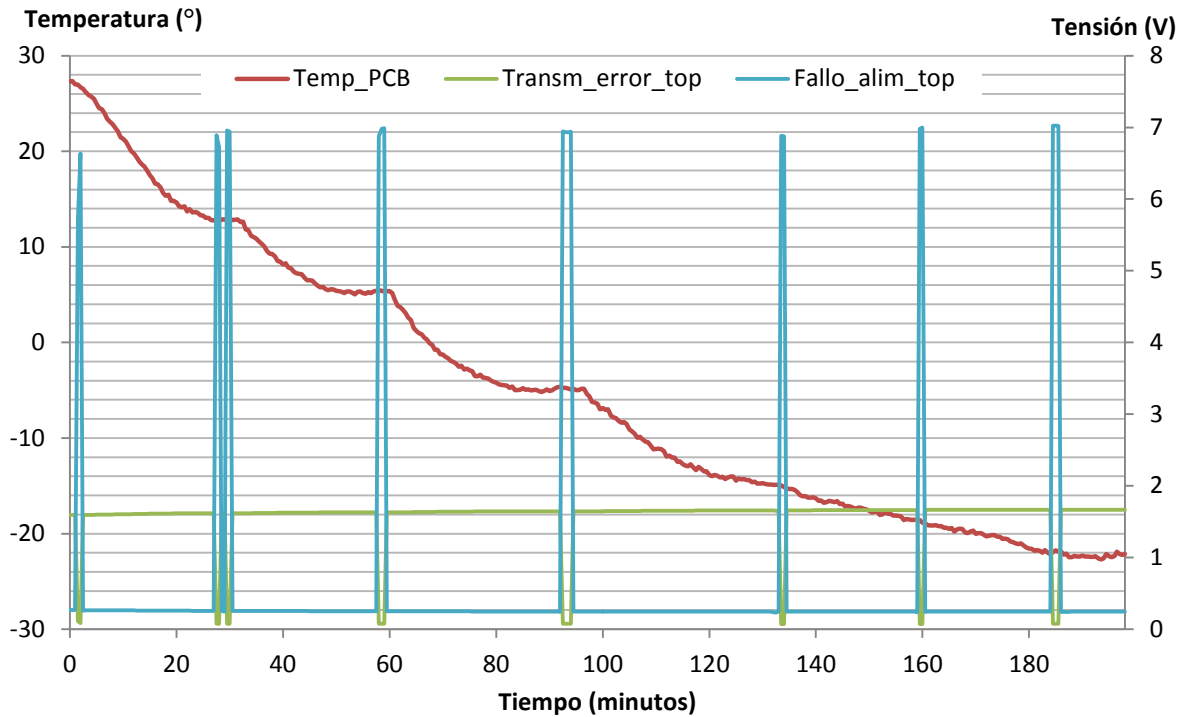
Pol_disp_fibra, P15_fuente y t^a PCB vs tiempo



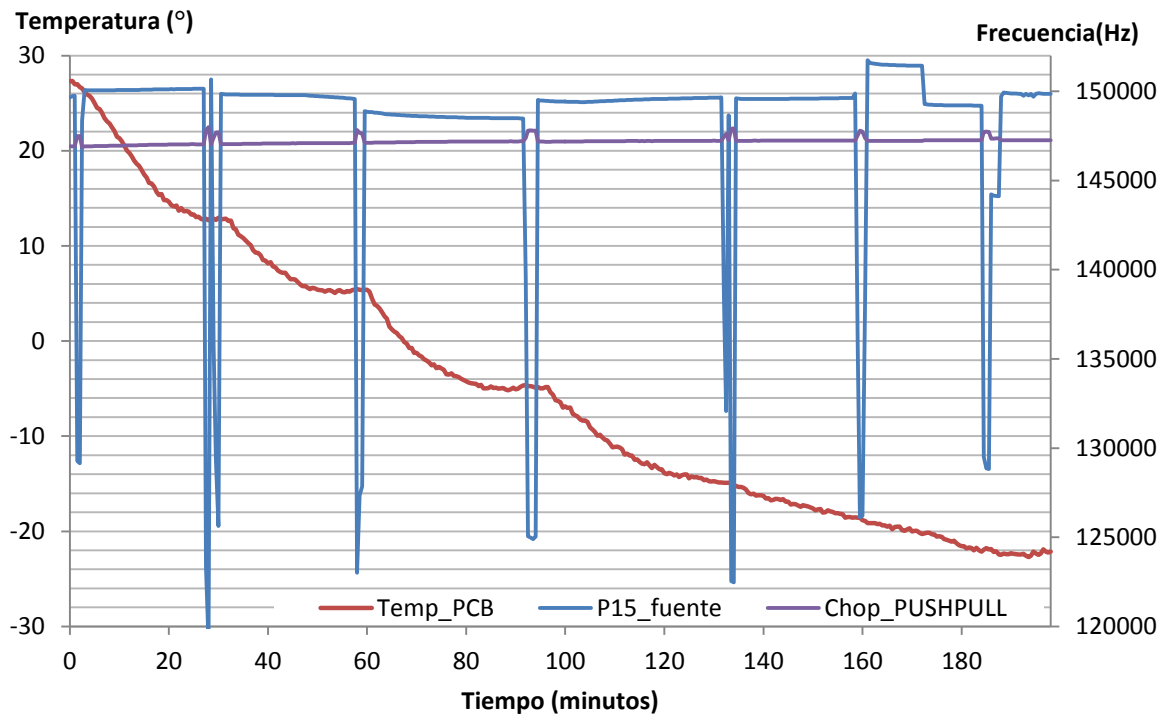
P15_fuente, señales error y t^a PCB vs tiempo



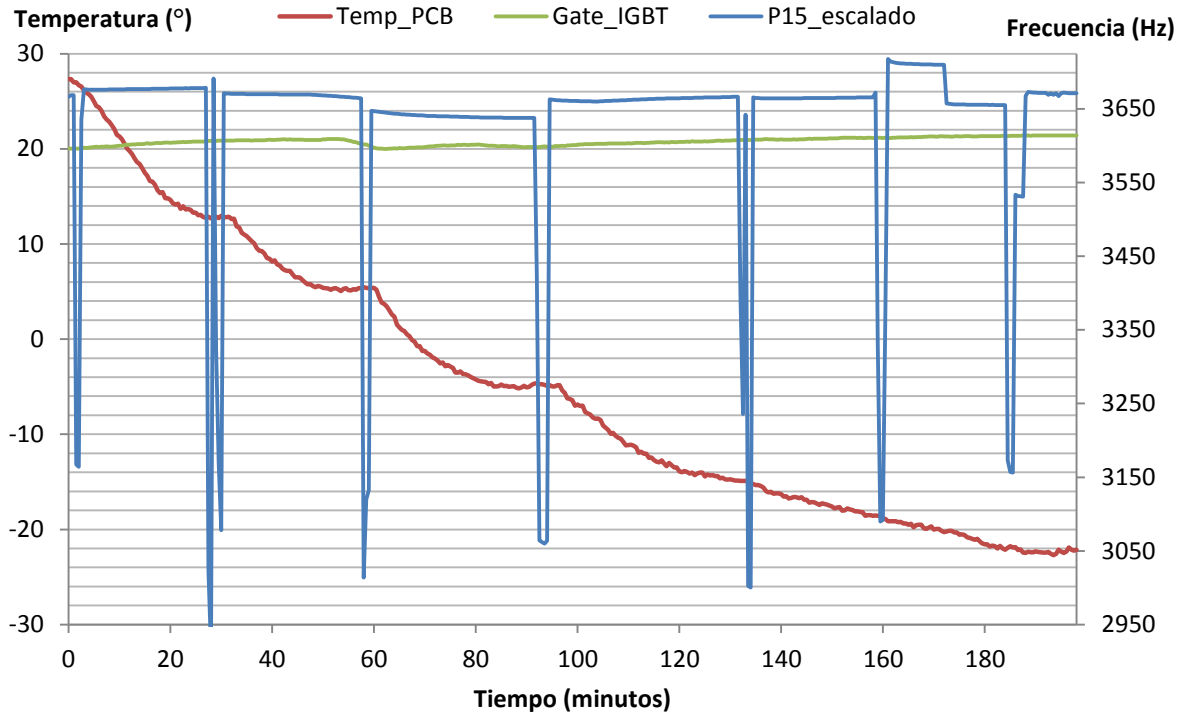
Señales error y tª PCB vs tiempo



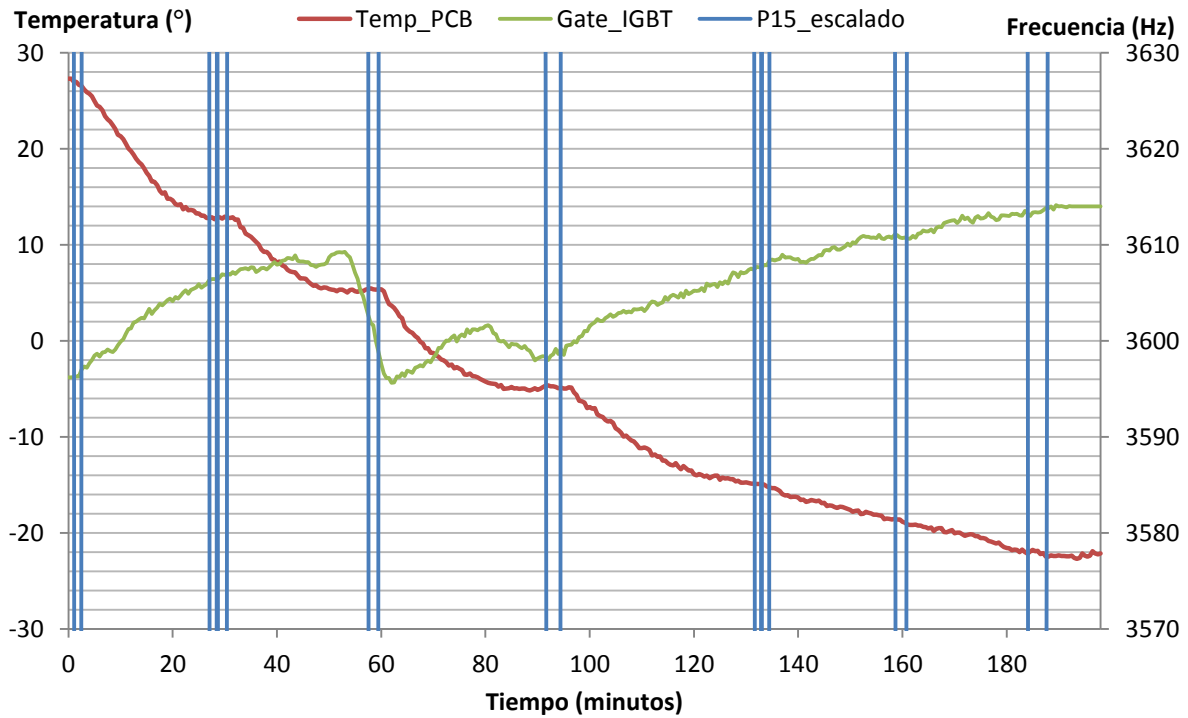
Chop_PUSHPULL, P15_fuente (escalado) y tª PCB vs tiempo



P15_fuente: Escala 1:10000

Gate_IGBT, P15_fuente (escalado) y t^a PCB vs tiempo

P15_fuente: Escala 1:245

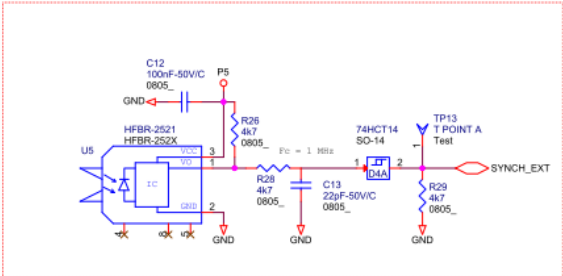
GateIGBT, P15_fuente (escalado) y t^a PCB vs tiempo

P15_fuente: Escala 1:24

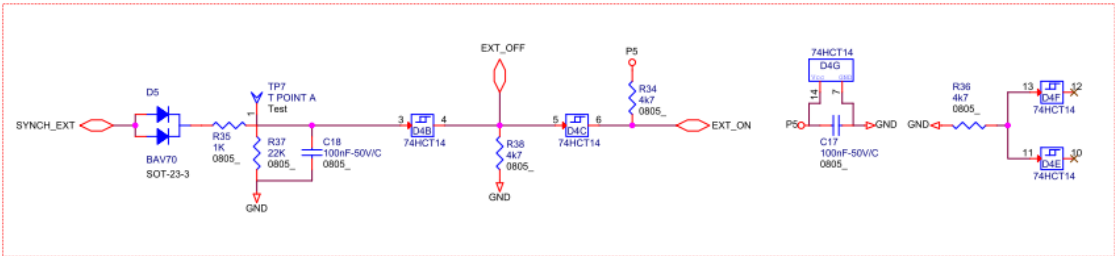
11. ANEXO II

Circuito fibra óptica recepción y gestión maestro-esclavo

RECEPTOR DE FIBRA (RX)



DETECTOR SINCRONIZACIÓN ENTRADA



GESTIÓN MAESTRO-ESCLAVO

